

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLV.

I. Untersuchung über die Tonhöhen der Transversalschwingungen poröser Gypsstäbe, wenn dieselben mit verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten getränkt sind;

von stud. Carl Müller,

Assistent am mathem. physik. Institut zu Marburg.

I.

Die Schwingungen elastischer Stäbe sind bis jetzt auf mannigfaltige Weise untersucht worden. Besonders eifrig hat die Analysis diese Erscheinungen zum Gegenstand ihrer Betrachtungen gemacht, und man kann fast behaupten, daß die Theorie derselben durch die ausgezeichneten Arbeiten der Bernoulli¹⁾, Euler²⁾, Riccati³⁾, Poisson⁴⁾ und Strehlke⁵⁾, besonders aber durch die meisterhafte und umfassende Abhandlung Seebeck's⁶⁾ als abgeschlossen zu betrachten ist.

Nicht so umfangreich und vollständig sind indessen die *Experimentaluntersuchungen* in diesem Theile der Physik. Sie beschränken sich größtentheils auf die Schwingungen starrer, isotroper Stäbe von verschiedenen Dimensionen und haben auch meistens nur die Bestätigung der Theorie durch das Experiment zum Zweck. Es liegen hier vor

1) *Comment. Acad. Petrop. T. XIII.*

2) *Acta Acad. Petrop. 1779.*

3) *Memorie della Società Italiana T. I.*

4) *Traité de Mécanique T. II.*

5) *Pogg. Ann. Bd. XXVII.*

6) *Abhandl. d. Sächs. Akadem. d. Wissensch. Mathemat. Phys. Classe I, 1852.*

die Fundamentalarbeiten von Chladni¹⁾, die Untersuchungen von Savart²⁾ und Kundt³⁾ über die zusammengesetzten Schwingungen der massiven Stäbe und Röhren, die schönen und fruchtbaren Beobachtungen von Wheatstone⁴⁾, Lissajous⁵⁾ und Melde⁶⁾ über die Schwingungscurven elastischer Stäbe und noch manche andere.

Auf diese grundlegenden Arbeiten gestützt werfen sich jedoch bei einiger Ueberlegung noch eine Menge interessanter Fragen auf, besonders über die Beschaffenheit und Veränderung der Schwingungen elastischer Stäbe, wenn ihre constitutiven Eigenschaften auf irgend eine Art und Weise modificirt werden, insbesondere dadurch, dass die Stäbe eine tropfbare Flüssigkeit, die sich chemisch indifferent verhält, durch Imbibition in sich aufnehmen und so gewissermaßen ein neues schwingendes System erhalten wird, bestehend aus festen und dazwischengelagerten tropfbar flüssigen Massentheilchen.

Die Untersuchung dieses besonderen Falles war das Thema der folgenden Arbeit, die ich auf Anrathen des Hrn. Prof. Melde unternahm und unter seiner Leitung im physikalischen Laboratorium der hiesigen Universität zum vorläufigen Abschluss brachte.

Es boten sich zunächst zwei Wege zur Untersuchung des angedeuteten Gegenstandes dar, die durch die eben nicht große Auswahl an geeigneten porösen Massen vorgezeichnet wurden. Ich konnte einestheils Substanzen verwenden, die, wie z. B. Holz, durch Eindringen von Flüssigkeit bedeutend in ihren Dimensionen verändert werden und außerdem nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticitätsverhältnisse besitzen. Hierbei würde auch in vielen Fällen die Lage der aufgesaugten

1) Dessen Akustik.

2) *Annales de chim. et de phys.* XIV, XXV und LXV.

3) Pogg. Ann. Bd. CXXVI.

4) *Quarterly Journal of science etc. New series No. II.*

5) *Annales de chim. et de phys.* III. Sér. T. LI.

6) Pogg. Ann. CXV und Melde, Theorie der Schwingungscurven.

Flüssigkeitstheilchen nach verschiedenen Richtungen hin ebenso variabel seyn. Bei diesen Körpern mußte die Experimentaluntersuchung eine sehr complicirte werden, wie es sich auch bei dieser Arbeit gezeigt hat, und außerdem noch subtile theoretische Rechnungen erfordern, die jedoch hier zunächst nicht beabsichtigt wurden.

Ich betrat daher den anderen Weg, indem eine Masse zur Herstellung geeigneter Stäbe verwandt wurde, die nach allen Seiten hin gleiche Elasticität und ausgezeichnete Porosität besitzt, durch das Eindringen von Flüssigkeiten nicht in seinen Dimensionen verändert wird und der sich leicht beliebige Formen ertheilen lassen. Am geeignetsten erwiesen sich bald Stäbe, die aus Gyps gegossen waren. Dieselben besitzen wegen ihrer krystallinischen Structur eine große Sprödigkeit und geben sehr helle und schöne Töne. Sehr leicht lassen sich auch Dichtigkeit, Dimensionen und Porosität der Stäbe ändern.

Im Ganzen experimentirte ich mit sieben Stäben, von denen fünf cylindrisch und zwei parallelopipedisch waren¹⁾. Die Herstellung der cylindrischen geschieht auf folgende Weise: Man wählt eine möglichst gleichweite Glasröhre von der erforderlichen Länge und Querschnitt aus und sprengt dieselbe ihrer ganzen Länge nach in drei Streifen. Diese Theile werden dann sorgfältig wieder zusammengekittet und ein gutgemischter²⁾, dünnflüssiger Teig aus

1) Die Ausdehnung der porösen Gypsstäbe ist zum mindesten eine so geringe, daß sie vollständig vernachlässigt werden kann. Genaue Untersuchungen über diesen Gegenstand sind, so viel ich weiß, noch nicht angestellt worden.

2) Das geeignetste Gemisch erhält man dadurch, daß man über eine bestimmte Quantität Wasser feines Gypsmehl siebt, dieses sich langsam setzen läßt und eine weitere Portion Gyps dazu siebt u. s. f., bis sich am Boden des Gefäßes eine ziemliche Schicht von Gypsbrei gebildet hat. Man gießt dann das darüberstehende Wasser ab und bringt die immer zäher werdende Masse in die gewünschte Form. Auf diese Weise wird besonders das Einschließen von Luftblasen in den Teig verhindert.

gebranntem Gyps und Wasser in die so präparirte Röhre eingegossen. Die Masse erstarrt alsobald, so dass man die Stücke der Glasröhre unbeschadet abnehmen kann. Der noch feuchte und etwas weiche Gypsstab ist jetzt zum Bearbeiten sehr bequem. Man giebt ihm die gewünschte Länge, gleicht Unregelmäßigkeiten in der äusseren Form aus und lässt ihn zum vollständigen Trocknen einige Tage liegen.

Zur Verfertigung prismatischer Stäbe benutze ich eine viereckige Rinne, die aus mehreren genau eben gehobelten Holzleisten zusammengesetzt ist.



Die eingefügten Figuren stellen die Ansicht dieser Einrichtung von oben (A) und einen Querdurchschnitt (B) dar. Auf dem Brette *b* sind zwei Leisten *a, a* durch Schrauben in gleichen Abständen befestigt. Die dadurch gebildete Rinne kann durch zwei genau in den Raum zwischen *a, a* verschiebbare Klötzchen *c, c* abgegrenzt und dadurch den zu gießenden Stäben eine beliebige Länge ertheilt werden. Ebenso können die übrigen Dimensionen des Stabes durch Veränderung des Abstandes der Leisten *a, a* verändert werden. Die Rinne muß bis zum Rande mit dem Gypsteige gefüllt und etwaige Unregelmäßigkeiten (Blasen usw.) an dem Niveau entfernt werden. Nach dem Erstarren der noch feuchten Masse entfernt man sofort die Verschraubungen und löst den Stab von den Holzleisten ab.

Auf die eben beschriebene Weise erhielt ich Stäbe, die sich ganz außerordentlich zu akustischen Versuchen eignen. Ihre spezifische Masse ist gering. (Sie schwankt bei den hier untersuchten zwischen 0,7 ... und 1,3 ...)

In der ganzen vorliegenden Arbeit ließ ich die Stäbe

transversal schwingen und zwar in der Weise, daß die beiden Enden vollkommen frei waren. Von den verschiedenen Tönen, die unter dieser Bedingung erzeugt werden konnten, wählte ich im Allgemeinen nur *einen* zur Beobachtung. Nur bei zwei cylindrischen Stäben benutzte ich mehrere Töne desselben Stabes.

Es war nun vor allen Dingen eine genaue Bestimmung der Knotenpunkte der zu erzeugenden Schwingungsart nöthig. Man berechnet die Lage derselben, wie es sich als am zweckmässigsten erwiesen hat, zuerst nach der Theorie und markirt dieselbe auf dem betreffenden Stabe. Letzterer wird sodann in diesen Punkten unterstützt und in Schwingungen versetzt, nachdem man vorher kreisrunde Reiterchen aus leichtem Drahte über denselben geschoben hat. Bei den Schwingungen werden sich dieselben in zitternder Bewegung immer mehr den Unterstützungspunkten nähern und schliesslich in der Nähe oder auf denselben sitzen bleiben. Man läßt das Reiterchen nach einander von beiden Seiten des Unterstützungspunktes sich dem Knotenpunkte nähern. Bleibt es in beiden Fällen in diesem Punkte fest sitzen, so ist dies der wahre Knotenpunkt; wenn es dagegen einmal etwas rechts, das andere Mal etwas links vom Stützpunkte entfernt bleibt, so nimmt man die Mitte des Abstandes der Punkte zum Knotenpunkt.

Wie ich gefunden habe, läßt sich auch die Lage der Knotenpunkte ziemlich leicht aus der Bewegung runder Sandkörnchen auf der Oberfläche der tönenden Stäbe erkennen.

Es ergab sich aus derartigen Versuchen, daß die Lage der Knoten sehr gut mit der Theorie übereinstimmte. Es bedurfte höchstens sehr geringer Correctionen. Daraus sieht man leicht, daß die Stäbe beim Gusse sehr homogen ausfallen, was für die weitere Untersuchung von Wichtigkeit ist. Aus der Verschiedenheit der Lage der experimentell bestimmten Knoten von der durch die Theorie gefundenen ergibt sich nämlich eine Verschiedenheit der

Porosität der Gypsmasse in einzelnen Partien; wenn alsdann verschiedene Flüssigkeiten in die Poren eindringen, so werden bei nicht homogenen Stäben manche Theile mehr flüssige Masse enthalten als andere und die Lage der Massen würde den vorigen Knoten durchaus nicht mehr entsprechen, also auch eine Verschiebung der wirklichen Knotenpunkte hervorgerufen werden.

In diesem Falle müßte man daher noch besonders für jede Flüssigkeit, mit der der Stab getränkt ist, die Knoten desselben neu bestimmen. Dann aber wäre eine exacte Untersuchung sehr problematisch, zumal die Flüssigkeiten ihrerseits wieder rasch verdampfen und von Neuem die Vertheilung der Masse ändern.

Bei manchen Stäben habe ich in der That eine nicht unbedeutende Verrückung der für den trockenen Zustand bestimmten Knotenpunkte beobachtet, dieselben mussten natürlich sofort verworfen werden.

Wichtig ist noch die Art und Weise, nach der ich die zu untersuchenden elastischen Massen in Schwingungen versetzte. Es geschah dies durch Anwendung eines feinen Glasstäbchens, welches, in der Mitte der Stäbe festgekittet, durch Reiben mit angenästen Fingern das ganze System in anhaltende und kräftige Schwingungen versetzte. Diese Stäbchen müssen ihren Dimensionen nach der Beschaffenheit der betreffenden Stäbe angepasst seyn. Bei kleinen und leichten Lamellen genügen feine, dünne Streichstäbchen; größere und schwerere Stäbe erfordern dagegen auch dickere und längere Glasstäbchen. Ebenso ist zu beachten, ob der Stab mit vielen oder wenigen Knoten schwingt. Im ersteren Falle muß das Streichstäbchen bedeutend stärker seyn, als im letzteren. Ueberhaupt hat sich diese Methode als eine ganz bequeme und elegante erwiesen¹⁾.

Schließlich ist es noch von erheblicher Bedeutung, in welcher Richtung senkrecht zu ihrer Längsaxe die Stäbe

- 1) Am besten befeuchtet man die Finger mit sehr verdünntem Alkohol, der besonders das Fett an der Haut wegnimmt.

gestrichen werden, um in's Tönen gebracht zu werden. Ich fand nämlich häufig gerade bei cylindrischen Stäben, daß sich der Ton merklich änderte, wenn man dieselben nach der einen oder anderen Richtung transversal in Schwingungen versetzte. Dieselbe Erscheinung erklärte sich allerdings wieder aus einer oft sehr geringen Inhomogenität der Masse. Um aber die Tonveränderung, die durch Flüssigkeiten bewirkt wird, immer genau für dieselbe Schwingungsart zu studiren, muß auch das Vibrationsstäbchen entweder ein für alle Mal an einer bestimmten Stelle festgekittet werden, oder doch wenigstens dafür gesorgt werden, daß es immer den Stab in derselben Richtung transversal erregt.

Die Flüssigkeiten, mit denen ich die Gypsstäbe tränkte, waren successive: Wasser, Alkohol und gewöhnliches Rüböl. Sie wurden mit Absicht in eben dieser Reihenfolge bei jedem einzelnen Stabe angewandt, da ich zuerst die Beobachtung mit Wasser machte, dieses verdampfen liefs, dann die wieder trockene Masse mit Alkohol behandelte und nach dem Experimente auch diese Flüssigkeit vollständig sich verflüchtigen liefs, worauf schliesslich die Sättigung mit Oel vorgenommen wurde.

Nach dieser letzten Operation waren die Stäbe zu Versuchen mit anderen Flüssigkeiten nicht mehr zu gebrauchen.

Wie schon bemerkt, dürfen zu diesen Untersuchungen nur für Gyps chemisch indifferente Flüssigkeiten benutzt werden. Zwar löst sich immerhin etwas Gyps in Wasser, doch ist die Löslichkeit sehr gering und habe ich einen merklichen Verlust an Gyps bei der Sättigung in Wasser nie bemerkt.

Zur bequemen und raschen Absorption der Flüssigkeiten legte ich die Stäbe einige Zeit in eine hinreichend lange Rinne aus Zinkblech, welche die betreffende Flüssigkeit enthielt. Wenn kein weiteres Aufsaugen von Flüssigkeit bemerkbar war, gewöhnlich nach einer Viertelstunde,

wurden die nunmehr vollständig gesättigten Stäbe herausgenommen, um sofort geprüft zu werden.

II.

Vor allen Dingen war sodann eine zweckmäßige Methode zur Bestimmung der Tonhöhe der Stäbe in ihren verschiedenen Zuständen erforderlich. Ich bezeichne im Folgenden die vier untersuchten Zustände der Stäbe, also im absolut trockenen Zustande, mit Wasser, Alkohol und Oel gesättigt, nach einander durch *A*, *B*, *C* und *D*.

Wie man leicht sieht, handelte es sich vorderhand nur um relative Tonhöhebestimmungen, da nur die Veränderungen der Schwingungsmengen in Bezug auf den normalen Zustand *A* untersucht werden sollten.

Im Anfange dieser Arbeiten glaubte ich das grosse Weber'sche Monochord verwenden zu können; bald erwies sich jedoch diese Methode als unbrauchbar. Die benutzten tiefen Stabtöne waren nämlich häufig an und für sich, oder wurden in Folge des Aufsaugens von Flüssigkeit so dumpf, daß eine genaue subjective Bestimmung unmöglich war. Manche Töne lagen sogar außerhalb der Grenzen der Hörbarkeit. Zudem war dieser Weg für rasche Experimente zu umständlich, da derselbe meistens zwei Personen erforderte.

Die *graphische Methode* von Duhamel, sowie die Anwendung der *Sirene* zeigten sich ebenso unbrauchbar, so daß ich gezwungen war, ein bequemerer und eleganteres Verfahren zur Vergleichung der Schwingungszahlen solcher Stäbe ausfindig zu machen.

Es bot sich mir, nach langen vergeblichen Bemühungen, eine Thatsache zur fruchtbaren Ausbeute dar, die Hr. Prof. Melde in einigen Abhandlungen¹⁾, worin er die Erregung stehender Wellen in fadenförmigen Körpern betrachtet, niedergelegt hat. Diese Erscheinung ist kurz folgende:

Läfst man die Schwingungen eines festen Körpers auf

1) Pogg. Ann. Bd. CIX und CXL.

einen gespannten Faden wirken, so geräth dieser bei bestimmter Länge und Spannung ebenfalls in stehende Schwingungen, die entweder an und für sich denselben Ton liefern, wie der erregende Körper, oder einen um eine Octave tieferliegenden. Ersteres tritt ein, wenn die Schwingungen des festen Körpers transversal, letzteres, wenn dieselben longitudinal zur Richtung des Fadens wirken. Je nach einer bestimmten Länge oder Spannung des Fadens theilt sich derselbe in eine gewisse Anzahl halber Wellen, die sich sehr scharf dem Auge darbieten. Man kann durch Regelung der Länge und Spannung einzeln, oder auch beider zugleich, den Faden seiner ganzen Länge nach schwingen lassen.

Es ist nun einleuchtend, daß, wenn man die Schwingungsmenge der Fadenschwingungen kennt, man hieraus sofort einen Schluß auf die des erregenden Körpers machen kann; sie ist nämlich genau dieselbe, wenn die Schwingungen transversal, doppelt so groß, wenn dieselben longitudinal auf den Faden wirken. Hr. Prof. Melde hat diese Thatsachen an tönenden Glocken und Stimmgabeln nachgewiesen; im übrigen verweise ich auf die bekannten Abhandlungen.

Das eben demonstrierte Gesetz der Erregung habe ich nun bei der Auffindung einer geeigneteren Tonhöhenbestimmung zu verwerthen gesucht. Bekanntermaassen läßt sich die Tonhöhe der Fadenschwingungen sehr einfach aus der Theorie der Schwingungen gespannter Saiten ermitteln, wenn die physikalische Beschaffung des Fadens, seine Spannung und die Länge einer halben Welle bekannt ist; jedes Fadenstück von der Länge einer Halbwelle muß dann unter der vorhandenen Spannung für sich denselben Ton geben, wie der erregende Körper selbst (bei transversaler Wirkung des letzteren). Ist daher die Spannung des Fadens $= p$, die Länge der Halbwelle $= l$, so erhält man auch die Schwingungszahl des erregenden, tönenden Körpers aus der Taylor'schen Formel

$$N = C \cdot \sqrt{\frac{p}{l}} \quad \text{worin} \quad C = \frac{1}{q} \sqrt{\frac{g}{q \cdot s}}.$$

Handelt es sich um eine bloße Vergleichung der Schwingungszahlen, wie bei meinen Versuchen, so wendet man stets Fäden von derselben physikalischen Beschaffenheit an, die Größe C bleibt dann überall dieselbe. Auf diese Weise beschränkt sich die Untersuchung bloß auf die Beobachtung von l und p .

Wünscht man jedoch auch die absolute Tonhöhe zu bestimmen, so braucht man nur den Factor C entweder durch Feststellung der Größen g , q , s , oder, was entschieden vorzuziehen ist, experimentell mit einer Stimmgabel von bekannter Tonhöhe zu suchen.

Ich habe auf die letzte Weise einige dieser Fadenconstanten bestimmt:

für einen Seidenfaden . .	= 9428
- - Leinenfaden . .	= 6272
- - Baumwollenfaden	= 5789.

Um indessen die oben dargestellte Methode auf ihre Genauigkeit zu prüfen, stellte ich eine lange Reihe von Versuchen mit dem bekannten Melde'schen Stimmgabelapparate an, den man gewöhnlich zur experimentellen Veranschaulichung der Schwingung von Saiten in aliquoten Theilen benutzt.

Ich gab der Latte, längs deren der zu erregende Faden verläuft, eine solche Stellung, daß die Richtung des Fadens in die Verlängerung der Drehaxe der Gabel fiel, und der ganze Apparat vertical eingestellt war (Fig. 1 Taf. XII). Diese Anordnung nennt Melde in seiner Abhandlung die „Transversalstellung“. Bei seinen Untersuchungen wurde jedoch ein Apparat benutzt, der etwas verschieden von dem hier zu beschreibenden ist, welchen letzteren ich auch immer gebrauchte. Bei jenem war nämlich der Faden fest mit dem einen Gabelarm verbunden, so daß sowohl die transversale, als auch die longitudinale Componente der Gabelvibrationen wirken konnten, deren Gesamteinfluß ja auch untersucht werden sollte.

In meinen Versuchen waren aber nur die transversalen Componenten zulässig, denn nur hierdurch konnten die stehenden Wellen auf dem Faden in ihrer vollen Schärfe hervortreten. Tritt dagegen noch die longitudinale Erregung hinzu, so werden die Erscheinungen in vielen Fällen complicirt und die Halbwellen können kaum einer scharfen Messung unterworfen werden. Alle diese verwickelteren Vorgänge sind ausführlich in den oben angegebenen Abhandlungen Melde's beobachtet und erklärt.

Ich habe nun die longitudinalen Erregungen der Gabel vollständig in folgender einfacher Weise unwirksam gemacht. Der Faden F war mit seinem einen Ende nicht fest mit dem Gabelzinken in k verbunden, wie in den Melde'schen Versuchen, sondern lief frei durch eine feine Oeffnung des Messingknöpfchen k hindurch und wurde erst am Fusse der Stimmgabel an einem Wirbel w befestigt. Offenbar kann jetzt der Faden wegen seines freien Verlaufs in der Längsrichtung von keiner longitudinalen Vibration afficirt werden, so daß jetzt nur die transversalen Schwingungen, die bei der Stimmgabel ja auch die kräftigsten sind, in voller Stärke zur Wirksamkeit gelangen. Dadurch werden auch jetzt die stehenden Wellenbewegungen auf dem Faden viel einfachere als vorher.

Die Curven, welche durch die Punkte des schwingenden Fadens beschrieben werden, sind hierbei nahezu gerade Linien, nur bei cylindrischen und parallelepipedischen Stäben mit fast quadratischem Querschnitt treten auch gestreckte Ellipsen auf, deren Hauptaxen sich in ihrer ganzen Ausdehnung dem Beobachter darbieten. Bei der Mitwirkung der longitudinalen Componente wäre dagegen eine unendliche Mannigfaltigkeit von Schwingungscurven resp. Schwingungsflächen aufgetreten. Die Knotenpunkte auf dem Faden lassen sich sehr scharf unterscheiden und eignen sich vortrefflich zur Abgrenzung und Messung der Halbwellen.

Um dem Faden die entsprechende Spannung ertheilen zu können, befestigte ich an seinem unteren Ende ein

leichtes Waageschälchen P und konnte so die Belastung durch Einlegung feiner Gewichte oder kleiner Schrotkörner reguliren.

Die bewegliche Latte M , M des Apparates wurde genau vertical gestellt und erhielt eine Millimetertheilung. Ausserdem waren längs derselben zwei Messingringe L , L verschiebbar, durch deren Oeffnung der Faden ganz frei, ohne die Ränder derselben zu berühren hindurchlaufen mußte. Die Ringe müssen sehr sanft und gleichförmig an der Latte verschiebbar seyn und dienen zum Einstellen der Knoten. Durch eine am Ende des Maassstabes befindliche Kneipzange wird ein bestimmtes Stück des Fadens abgegriffen.

Zu allen meinen Versuchen verwandte ich dünne Seidenfäden. Es lassen sich bei denselben grofse Strecken (gegen 1 Meter) in kräftige, stehende Schwingungen versetzen. Dünne Metalldrähte dagegen erlauben nicht wegen ihrer inneren Steifigkeit gröfsere Stücke zu verwenden. Auch gelingt es, vermittelst relativ kleiner Gewichte, eine hinreichend grofse Anzahl von halben Wellen auf dem Faden zu erhalten. Schliesslich sind die Uebergänge von einer Theilungsart zur folgenden ziemlich rasch zu bewirken, während dies bei stärkeren Saiten nicht so rasch und leicht möglich ist. Die Taylor'sche Formel ist dazu direct anwendbar, ohne noch eine mühsame Correction wegen der Steifigkeit der Saiten zu erfordern.

Die meisten der Fäden besitzen ihrer ganzen Länge nach eine hinreichend gleiche Beschaffenheit. Doch darf man nie unterlassen, einen Faden, den man zu Tonhöbestimmungen verwenden will, zuvor sorgfältig auf seine gleichmäfsige Structur zu prüfen. Man kann dies leicht dadurch bewerkstelligen, dafs man ihn an dem eben beschriebenen Stimmgabelapparat in einer grofsen Anzahl aliquoter Theile schwingen läfst. Alle diese einzelnen Theile werden dann sorgfältig gemessen und miteinander verglichen. Es müssen dann alle Wellen, mit Ausnahme der der Gabel zunächstliegenden, fast genau in ihrer

Länge
ein M
wer
D
maafs
eine
gelegt
mittel
gemei
Bewe
zufüg
chen
schön
wird
Spann
Knot
sind.
nung
und
wenn
mit F
dem
stimm
W
Stimm
hinein
abrig
dung
M
breite
in ali
von d
Welle
chara
zur
nieder
merkt

Länge übereinstimmen. Findet man Differenzen, die über ein Millimeter gehen, dann müssen die Fäden verworfen werden.

Das Experiment mit dem Apparate geschieht folgendermaßen: Man giebt dem fadenförmigen Körper zuerst eine kleine Spannung durch wenige in das Waagschälchen gelegte Schrotkörnchen und versetzt die Stimmgabel *G* mittelst des Streichstäbchens *S* in Schwingungen. Im Allgemeinen bemerkt man jetzt kaum eine schwache, zitternde Bewegung des Fadens. Durch weiteres sorgfältiges Hinzufügen von Schrotkörnern und anhaltendes kräftiges Streichen der Stimmgabel entsteht dann nach und nach eine schöne, stehende Wellenreihe auf dem Faden. Dieselbe wird immer deutlicher, bis sich bei einer genau abgepaßten Spannung scharfe, breite Wellen gebildet haben, deren Knoten zum Einstellen auf dem Maassstabe sehr geeignet sind. Geht man nur um ein Minimum über diese Spannung hinaus, so nimmt die Breite der Wellen sofort ab und die Knoten werden undeutlich. Man kann nunmehr, wenn die Wellenbewegung schön hervortritt, die Knoten mit Hilfe der verschiebbaren Indices einstellen und aus dem Abstände der letzteren die Länge der Halbwelle bestimmen.

Wie schon vorher bemerkt, darf man nicht die der Stimmgabel zunächst gebildete Welle in die Messungen hineinziehen, da dieselbe immer etwas größer ist, als die übrigen. Es rührt diese Unregelmäßigkeit von der Bildung „gebrochener Halbwellen“ her.

Man beobachtet nämlich häufig, besonders bei großen breiten Wellen, daß eigentlich der Faden niemals genau in aliquoten Theilen schwingt, sondern daß an dem Punkt, von dem die Erregung ausgeht, nur Theile einer halben Welle entstehen. Diese Erscheinungen sind besonders charakteristisch bei Uebergängen von einer Nebenspannung zur nächst niederen oder höheren. Ist nun die nächst niedere Schwingung erreicht, so zeigt sich, wie schon bemerkt, daß die oberste Welle immer etwas größer ist,

als die übrigen; gehen wir dagegen zu einer höheren über, dann findet man die obere Welle etwas kleiner; vielfache Messungen haben dies in hinreichendem Maaße bestätigt. Da indessen dieser merkwürdigen Wellenformen schon durch Hrn. Prof. Melde in ausführlicher Weise gedacht ist, so verweise ich im übrigen auf die oft genannten Abhandlungen. Diese Erscheinungen haben, wie man sieht, etwas analoges mit den Verschiedenheiten der Kundt'schen Staubwellen in schwingenden Luftsäulen.

Es muß noch bemerkt werden, daß bei Theilungen höherer Ordnung die Elongationen der Wellen zu klein sind, um diese Uebergänge genau verfolgen zu können. Da man nun aus der Bildung und Veränderung der gebrochenen Wellen genau den Moment beobachten kann, in dem die Spannung erreicht ist, die zur Theilung in eine möglichst genaue ganze Anzahl von Wellen erforderlich ist, so wird man nothwendiger Weise nur solche Schwingungen verwenden, deren Elongationen hinreichend groß sind. Meine Versuche ergaben, daß die Schwingungen von der 7. bis 3. Ordnung, oder, wie es Melde nennt, von der 7. bis 3. Nebenspannung die geeignetsten sind.

Es ist nicht unbedingt nöthig, daß das Ende des gespannten Fadens, an dem sich das Waagschälchen befindet, durch eine Kneipzange festgehalten wird; man kann den Faden ganz frei schweben lassen, nur muß man verhindern, daß durch die Spannung keine Torsion des gedrehten Seidenfadens verursacht wird. Das Letztere läßt sich sehr einfach dadurch einrichten, daß man das Waagschälchen durch einen Faden lose an einen festen Theil des Apparates knüpft und dadurch eine Drehung des Gewichtes und zugleich des Fadens unmöglich macht. Indessen bilden sich bei dieser freien Aufhängung des Fadens auch an dem belasteten Ende gebrochene Halbwellen, so daß auch diese letzte Welle nicht in die Rechnung gezogen werden darf.

Wie man sieht, kann man zunächst bei einer Anzahl

gemessener Halbwellen den wahrscheinlichsten Werth derselben berechnen. Eine einmalige Bestimmung der Spannung und der entsprechenden Wellenlänge bietet aber doch noch keine hinreichende Sicherheit für die genaue Bestimmung des Hauptfactors $\frac{\sqrt{P}}{l}$ in der Taylor'schen Formel, was sich auch aus den Vorversuchen ergab.

Es müssen dagegen die bei successiven Spannungen entstehenden Wellen gemessen werden und hieraus durch mehrfache Berechnung des obigen Quotienten dessen wahrscheinlichster Werth gefunden werden.

In einem der erten Versuche benutzte ich z. B. einen feinen, weissen Seidenfaden, der durch die Stimmgabel des beschriebenen Apparates in Vibration gesetzt wurde; drei aufeinanderfolgende Versuche ergaben:

Bei einer Spannung von 21,09 Gramm schwang der Faden in 6 Theilen (6. Nebenspannung), Länge der Halbwellen = 107^{mm}.

Bei einer Spannung von 47,96 Gr. in 4 Theilen, Länge der Halbwellen = 160^{mm}.

Bei einer Spannung von 87,41 Gr. in 3 Theilen, Länge der Halbwellen = 215^{mm}.

Die Quotienten:

$$\frac{\sqrt{21,09}}{107}, \quad \frac{\sqrt{47,96}}{160}, \quad \frac{\sqrt{87,41}}{215}$$

mussten dann für alle 3 Fälle dieselben Werthe ergeben, da die erregende Stimmgabel immer dieselbe blieb. In der That war auch nach einander:

$$\frac{\sqrt{P}}{l} = \begin{cases} 0,0429 \\ 0,0432 \\ 0,0434. \end{cases}$$

Die Uebereinstimmung der Zahlen ist für diesen Versuch hinreichend genau.

Nachdem ich mir über die Zweckmäßigkeit der Methode durch eine lange Reihe von Versuchen Gewissheit verschafft hatte, ging ich daran, eine Einrichtung herzu-

stellen, in der man beliebig und rasch nacheinander schwingende, elastische Stäbe, wie sie in diesen Untersuchungen angewendet werden, nach dem besprochenen Principe auf die fadenförmigen Körper wirken lassen konnte. Nach vielen langwierigen Bemühungen entstand endlich ein Apparat, der sich bei allen meinen Versuchen als recht bequem und zweckmäßig erwies, aber nur gestattet gerade elastische Stäbe von verschiedenem Querschnitt zu untersuchen. Die ganze Einrichtung möge durch die Fig. 2 und Fig. 3 Taf. XII erläutert werden.

An einer langen Latte L, L von hartem, trockenem Holze sind zwei Holzstücke H und H' verschiebbar, die sich außerdem noch durch starke hölzerne Schrauben r und r' beliebig an der Latte festklammern lassen. Diese Holzstücke besitzen auf der vorderen Seite keilförmige Ausschnitte K, K , die nach Außen hin zugeschärft sind. Die Zuschärfungsflächen sind noch mit weichem Kork ausgekleidet. Auf der einen Seite der Stücke in f ist eine Darmsaite befestigt, die durch eine Durchbohrung und schmalen Einschnitt e, e läuft und sich auf der anderen Seite um einen Wirbel w windet.

Der untere Holzbacken H wird am besten ein für alle Mal festgeschraubt, während der obere jederzeit frei beweglich seyn muß. Die ganze Latte wird genau vertical aufgestellt, was mittelst der Fußschrauben R_1, R_2, R_3 möglich ist. Das Fußgestell wird am besten aus einer möglichst schweren Masse gefertigt, um den Schwerpunkt des Apparates dadurch sehr tief legen zu können. Es erhält so die Zusammenstellung eine bedeutende Standfestigkeit, die bei den Experimenten sehr wünschenswerth ist. Noch besser ist es, wenn man die ganze Latte $L L$ oben und unten in festes Mauerwerk einsetzen kann.

An dem unteren Holzstücke H ist ein Maafsstab vermittelst der Schraube s befestigt und reicht bis an die Grundplatte G , wo er fest mit Gestell verbunden ist. Zwei Tellerchen T, T lassen sich federnd an dem Maafsstabe verschieben; sie tragen kreisförmige Oeffnungen, die

zum
verse
S
sucht
Knot
pres
in de
Ordn
gespa
welch
selber
dageg
rechn
gen.
Anza
jenige
stäbel
D
unter
chen
ment
daher
an, un
wie in
mit ei
Siegel
in ein
einges
Di
nun a
werden
von d
genau
ganze
dafs d
geht,
Fogge

zum Einstellen der Knoten mit feinen gekreuzten Fäden versehen sind.

Sollen nun elastische Stäbe an diesem Apparate untersucht werden, so legt man sie mit ihren genau bestimmten Knotenpunkten K, K in die weichen Korklager ein und presst sie durch Anziehen des Wirbels w nicht zu stark in den Ausschnitt k hinein. Es genügt bei Tönen niederer Ordnung, daß nur je zwei Knoten auf diese Weise eingespannt werden, doch ist es nicht immer gleichgültig welche. Bei dem 1. Ton eines Stabes befestigt man denselben in seinen beiden einzigen Knoten; beim 3. Tone dagegen im 1. und 3. Knoten vom einen Ende ab gerechnet. Höhere Töne sind schon schwieriger zu erzeugen. Ueberhaupt benutzte ich nur Töne mit einer *geraden* Anzahl von Knoten und untersuchte auch immer nur diejenigen, die sich leicht durch Streichen mit einem Glasstäbchen hervorbringen ließen.

Die großen Dimensionen des Gestelles und der zu untersuchenden Stäbe gestatteten nicht das Streichstäbchen in der Mitte der Stäbe zu befestigen, das Experimentiren wäre sonst zu unbequem gewesen. Ich brachte daher dasselbe ganz dicht an dem freischwingenden Ende an, und es zeigte sich, daß die Vibrationen ebenso kräftig wie in der Mitte erregt wurden. Jedes Glasstäbchen war mit einer Messingfassung m versehen, in die es leicht mit Siegellack eingekittet werden konnte; die Fassung endete in eine Schraube, wodurch das Stäbchen in den Gyps fest eingeschraubt werden konnte.

Die Schwingungen des so vorbereiteten Stabes mußten nun auf einen vorher wohl geprüften Faden übertragen werden. Ich führte denselben o, o in einiger Entfernung von dem Stabe vertical herunter, so daß er möglichst genau durch die Oeffnungen der Tellerchen T, T lief. Der ganze Maafsstab muß daher schon vorher so gelegt seyn, daß die Linie, die durch die Mitte der Telleröffnungen geht, immer 1—2 Centimeter seitlich vom Stabe S liegt

und den Aufhängungspunkt g in verticaler Richtung trifft. Um die Fortpflanzung der Vibrationen des Stabes auf den Faden zu bewirken, schob ich an das Ende des Stabes einen kleinen Hohlcyylinder von leichtem Papier (C) (oder sehr dünnem Blech), der mit einem Blättchen aus steifem Papier oder Stanniol (D) überdeckt war. Dieses „Vibrationsblättchen“ erhielt an der Stelle, wo der Faden in seiner verticalen Lage hindurchlaufen sollte, eine feine Oeffnung mit einer Nadel und gestattete so dem Faden einen freien Durchgang in seiner Längsrichtung. Der Papiercylinder hat nur den Zweck, dem Vibrationsblättchen den nöthigen Halt zu verleihen; er besitzt außerdem noch eine seitliche kreisförmige Oeffnung, um die Vertiefung im Gypsstabe frei zu lassen, in die das Streichstäbchen eingeschraubt wird. Man sieht, daß auch hierbei nur die transversalen Schwingungen den Faden afficiren können, während die longitudinalen nicht zur Wirkung gelangen.

Natürlich darf die Armirung am Ende der Stäbe nur sehr leicht seyn, so daß keine bedeutende Tonveränderung des Stabes durch diese neue Belastung hervorgebracht werden kann. Man bringt jedoch am besten zur Aequilibrirung am anderen freien Ende des Stabes ein Gegengewicht an. Die größte Vorsicht muß man aber in der Befestigung und Führung des Fadens beobachten. Er muß ganz frei, ohne nur einen Theil des Apparates, am wenigsten aber den Stab selbst zu berühren, durch die feine Oeffnung des Vibrationsblättchens und die Tellerchen des Maafsstabes gehen. Am unteren Ende trägt er das leichte Waagschälchen P , welches durch ein Fädchen an die Latte L geknüpft ist, um eben eine Torsion zu verhindern. Wenn es die Verhältnisse erlauben, befestigt man den Hauptfaden in der Decke des Versuchsraumes, damit ersterer absolut freihängt und man keine secundären Wirkungen zu befürchten hat, wodurch sehr leicht die stehenden Transversalwellen modificirt werden könnten.

Blos der untere Theil des Fadens, vom Vibrationsblättchen an, braucht von der ausgewählten Sorte zu seyn, da

nur a
obere
kann
noch
lastun
Faden
Meld
rend
der S
In
richtu
D
geben
angesp
der F
blättch
Häkel
alsdann
beginnt
reibt m
Hand
Faden
sich s
man b
körner
bestän
stabes
bration
dividir
liegend
welle
nung,
aus de
ren Ge
man zu
Spannu
nach u

nur an diesem Theile die Wellen gemessen werden; der obere Theil n , der eigentlich bloß zur Aufhängung dient, kann durch eine starke Schnur ersetzt werden. Ich will noch hervorheben, daß bei dieser Einrichtung jede Belastung des erregenden Körpers durch den gespannten Faden vermieden ist, während dies bei dem ursprünglichen Melde'schen Apparat nicht der Fall war und etwas störend auf die Erscheinungen wegen der Tonveränderung der Stimmgabel einwirkte.

Im Allgemeinen kann man mit der beschriebenen Vorrichtung sehr rasch und sicher experimentiren:

Der zu untersuchende Stab wird auf die schon angegebene Art und Weise an seinen Knoten in den Apparat angespannt, die Armatur am unteren Ende angebracht, der Faden durch das feine Löchelchen des Vibrationsblättchens gezogen und an der oberen Schnur, die ein Häkchen trägt, befestigt. Der Experimentator kann sich alsdann bequem vor das Gestell setzen und die Versuche beginnen. Er ertheilt dem Faden eine kleine Spannung, reibt mit dem nassen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand das Streichstäbchen, beobachtet die Bewegung des Fadens und vergrößert die Belastung immer mehr, bis sich schöne und breite Wellen zeigen. Letzteres kann man bei einiger Uebung sehr rasch durch feine Schrotkörner mit der linken Hand bewirken, während die Rechte beständig reibt. Jetzt stellt man die Schieber des Maafstabes auf den zweiten und letzten Knotenpunkt vom Vibrationspunkt aus gerechnet ein, liest deren Abstand ab, dividirt in diesen Werth mit der Anzahl der dazwischenliegenden Halbwellen, so erhält man die Länge der Halbwelle mit großer Genauigkeit. Die dazugehörige Spannung, bestehend aus einer Anzahl Schrotkörnern, wird aus dem Waageschälchen genommen und später mit andern Gewichten an einer Waage bestimmt. Alsdann geht man zu einer andern, gewöhnlich der zunächst niederen Spannung über, indem man die vorhergehende Belastung nach ungefähre Schätzung der gebrauchten Bleikörner

wieder zubringt und dieselbe allmählig vergrößert, bis man zu einer solchen gelangt, daß der Faden genau mit einer Welle weniger schwingt, als bei der vorhergehenden Belastung. Von dieser Schwingung geht man wieder zu einer nächst anderen über u. s. f., bis man eine Reihe von Beobachtungen hat, die in ihrer Gesamtheit ein sicheres Resultat in Aussicht stellen.

Wie schon früher bemerkt, hängt bei den Versuchen sehr viel von der Beschaffenheit und Aufeinanderfolge der entstehenden Wellen ab. Dieselben dürfen bei einer angewandten Spannung weder zu zahlreich auf dem Faden auftreten, indem dadurch die Gewichts-differenz mit den folgenden Spannungen zu gering wird, noch dürfen sie in zu geringer Anzahl auftreten, da dann die Anzahl der Wellen, aus denen der wahrscheinlichste Werth derselben gezogen wird, zu klein wird. In beiden Fällen kann man nicht für ganz genaue Resultate bürgen. Um aber eine geeignete Belastung des Fadens rasch zu erhalten, habe ich mir eine Anzahl Waageschälchen von verschiedener Schwere verschafft, da dieselben an und für sich schon als Spannung wirken und die Anzahl der zuerst entstehenden Wellen beeinflussen. Ich besaß deren fünf von verschiedener Gröfse und folgenden Gewichten in Gr.:

0,108, 0,260, 0,730, 2,20, 2,70.

Durch zweckmäßige Verwendung derselben war es mir nach einiger Uebung möglich, sofort eine gewünschte Anzahl von Wellen zu erhalten. Ebenso erleichternd für die Versuche ist es, verschiedene Sorten von Schrotkörnern in Bereitschaft zu halten, da es immer sehr lästig und langwierig ist, von einer Belastung zur anderen nur mit ganz feinen Körnchen überzugehen. Man darf sich im Gegentheile sehr rasch mit dickeren Körnern einer folgenden Spannung nähern, wenn man nur genau die Veränderung der gebrochenen Wellen beobachtet und auf diese Weise der genauen Spannung sehr nahe rücken kann. Das übrige geschieht dann wieder mit den feinsten Körnchen.

Ton-
lich

Schw-
art
ten

3

4

D
wie d
Ueber
ser D
unter
schwin
der F
schwa
cessiv
Die Z
wellen
nung
arithm
dieser
der d
Messu
Zahlen
sprech
briken
spannu

Ich füge hier eine kleine Tabelle ein, die die relative Tonhöhebestimmung eines trockenen Gypsstabes übersichtlich darstellt.

Tabelle 1.

$$L = 1300^{\text{mm}}. \quad D = 21^{\text{mm}}, 4.$$

Schwingungs- art und Kno- ten d. Stabes	A				N
	No.	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>A . M</i>	
3. Ton mit 4 Knoten	3	12,90	261	2	0,01387 C
	4	7,78	198	3	
	5	4,70	156	4	
	6	3,27	130	5	
	7	2,37	112	0	
<i>M</i>	480 Gr.				
<i>S</i>	1,027				
<i>T</i>	14° R.				

Der Stab wurde auf seinen 3. Ton untersucht und, wie der Buchstabe *A* andeutet, im trockenen Zustande. Ueber der Tabelle sind die Länge *L* und der Durchmesser *D* des cylindrischen Stabes angegeben. Die Zahlen unter No. geben die Ordnung an, in denen die Fadenschwingungen aufeinander folgten. Man sieht daraus, daß der Faden nacheinander mit 3, 4, 5, 6 und 7 Halbwellen schwang, oder auch anders ausgedrückt, daß er sich successive in der 3., 4., 5., 6. und 7. Nebenspannung befand. Die Zahlen unter *A . M* bezeichnen die Anzahl von Halbwellen, aus denen bei der correspondirenden Nebenspannung der wahrscheinlichste Werth der Welle (hier das arithmetische Mittel) berechnet worden ist. Es sind in dieser Tabelle alle auftretenden Wellen, mit Ausnahme der dem Vibrationsblättchen zunächst liegenden, in der Messung hereingezogen worden, daher fallen auch die Zahlen unter *A . M* immer um 1 kleiner aus, als die entsprechende Ordnung der Nebenspannung. Unter den Rubriken *l* und *p* befinden sich die den einzelnen Nebenspannungen entsprechenden Wellenlängen und Gewichte.

Die Horizontalcolonnen *M*, *S* und *T* enthalten nacheinander das Gewicht, das spec. Gewicht des Stabes und die Temperatur, bei der die Beobachtungen ausgeführt wurden.

Aus den entsprechenden Gröfsen von *l* und *p* ist dann 5 mal der Quotient $\frac{\sqrt{p}}{l}$ gebildet worden und hieraus auf eine gleich zu beschreibende Methode der wahrscheinlichste Werth gezogen worden.

Diese Zahl mit den Fadenconstanten *C* multiplicirt giebt dann die Tonhöhe *N* des Stabes.

Die Tabelle zeigt ausserdem noch deutlich, dass die Differenzen der aufeinanderfolgenden Werthe von *p* desto gröfser werden, von desto niedriger Ordnung die Schwingungen des Fadens sind, dass aber in umgekehrter Reihenfolge die Sicherheit der Wellenmessung wegen der wachsenden Anzahl der Wellen eine genauere wird. Ich habe nun gefunden, dass die Erscheinungen, bei denen 3 bis 10 Wellen auftreten, für alle Rechnungen die sichersten sind und habe ich auch in allen Beobachtungen selten diese Gränze überschritten. Keineswegs braucht man nun immer genau die Reihenfolge der Spannungen einzuhalten. Kommt vielleicht eine Wellenbewegung irgend einer Ordnung nicht scharf zu Stande, so überspringt man dieselbe und nähert sich der nächst folgenden.

Den vorliegenden Apparat habe ich nicht weiter mehr auf feinere Fehlerquellen untersucht. Es genügte mir, die Resultate aus dieser Methode mit den aus der theoretischen Formel für die Schwingungszahl elastischer Stäbe gefundenen Werthe der Tonhöhe zu vergleichen und habe eine hinreichende Uebereinstimmung erhalten, vollkommen genügend für die vorliegende Untersuchung, bei der, wegen gewisser Schwierigkeiten, die Fehlergränzen nicht so enge zusammenliegen. Es machen daher diese Versuche keinen Anspruch auf die äufserste Genauigkeit. Indessen ist es, wie mir scheint, nicht schwer, diesem Apparat dieselbe Genauigkeit zu geben, wie man sie bei dem Kundt'schen Apparate zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindig-

keit des Schalls in Röhren findet. Ueberhaupt hat meine Einrichtung im Principe eine gewisse Aehnlichkeit mit der von Kundt. Hier wie dort wirkt ein vibrirender, fester Körper auf ein elastisches System und setzt dasselbe in schwingende Bewegung. In letzterem Falle entstehen Gaswellen, in ersterem Fadenwellen. Einflüsse der Temperatur und der Feuchtigkeit habe ich möglichst vermieden. Ich arbeitete meistens in einem möglichst abgeschlossenen Raume des hiesigen physikalischen Laboratoriums bei ziemlich constanter Temperatur.

Schliesslich will ich noch die Art und Weise auseinanderzusetzen, in der die Beobachtungen berechnet und die wahrscheinlichsten Werthe gefunden wurden. Man erhält aus den Versuchen zwei Reihen von Gröfsen: Die Längen der Halbwellen und die entsprechenden Spannungen. Die ersteren Werthe sind selbst wieder aus einer gewissen Anzahl von Wellen bestimmt. Die Spannungen ergeben sich dagegen nur aus einer einzigen Messung. Bei allen meinen Versuchen habe ich eine Anzahl von Wellen auf dem Faden zwischen die beiden Indices genommen und mich mit dem arithmetischen Mittel des abgelesenen Abstandes als Werth der Halbwelle begnügt. Bei ganz genauen Versuchen mufs man indessen jede einzelne Welle messen und aus der Combination dieser Gröfsen das wahrscheinlichste Resultat berechnen. Die Methode der kleinsten Quadrate giebt hierfür eine sehr einfache Regel. Ich will hier nicht weiter die Entwicklung der betreffenden Formel geben, da sich dieselbe auch in der schon erwähnten Arbeit von Kundt vorfindet; hierin werden nämlich ganz ähnlich die wahrscheinlichsten Werthe der Staubwellen aus einer Anzahl von Einzelbeobachtungen ermittelt.

Bezeichnen wir mit $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$ eine Anzahl Messungen von halben Wellen derselben Schwingungsart, so ergibt sich der wahrscheinlichste Werth l der Halbwellen aus der Formel:

$$\frac{n(n+1)(n+2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} l = n(l_n - l_0) + (n-2)(l_{n-1} - l_1) \\ + (n-4)(l_{n-2} - l_2) + \dots$$

Die hiernach berechneten Wellenwerthe weichen aber trotzdem nicht bedeutend vom arithmetischen Mittel ab, und man kann sich auch bei feineren Untersuchungen mit letzterem begnügen.

Indem wir jetzt aus den entsprechenden Werthen von l und p den Quotienten $\frac{\sqrt{p}}{l}$ bilden, erhalten wir eine dritte Reihe von Zahlen, aus der abermals der wahrscheinlichste Werthe von $\frac{\sqrt{p}}{l}$ gezogen werden muß. Das arithmetische Mittel genügt für letzteren Fall fast niemals, denn das Gewicht einer jeden Bestimmung von $\frac{\sqrt{p}}{l}$ hängt doch offenbar von der Anzahl der Halbwellen ab, aus denen die zugehörige GröÙe der Halbwelle bestimmt worden ist. Wir haben also ein Maafß für das Gewicht des betreffenden Quotienten in der Ordnung der Schwingungsart, denn die Mittel der Wellen wurden jedesmal aus einer Anzahl derselben berechnet, die um 1 kleiner war als die Ordnungszahl der Schwingung.

Multiplizieren wir daher jeden einzelnen Werth von $\frac{\sqrt{p}}{l}$ mit der beobachteten Anzahl von Wellen der entsprechenden Schwingungsart, summirt diese GröÙen und dividirt durch das Aggregat aller Wellen, so erhält man den wahrscheinlichsten Werth des Quotienten.

Sind also $L_1, L_2, L_3 \dots L_n$ die aus den einzelnen Gruppen der Schwingungen gebildeten wahrscheinlichsten Werthe von $\frac{\sqrt{p}}{l}$, so ist die schließlich wahrscheinlichste GröÙe L bestimmbar aus der Formel:

$$L = \frac{1 L_1 + 2 L_2 + 3 L_3 + \dots + n L_n}{1 + 2 + 3 \dots + n}$$

oder

$$\frac{n(n+1)}{1.2} L = 1L_1 + 2L_2 + 3L_3 + \dots + nL_n.$$

Dafs in der That letztere Formel nützlich ist, wird sich unten in den Tabellen zeigen. Ich habe auch jederzeit diese Berechnung angewandt. Man ersieht ausserdem aus den letzten Betrachtungen, dafs die Genauigkeit der zu erwartenden Resultate erforderlichenfalls sehr weit getrieben werden kann, zumal die Anzahl der zur Verfügung stehenden Beobachtungen beliebig annehmbar ist.

Wir haben also hiermit eine Methode zur Tonhöhebestimmung elastischer Stäbe, der relativen sowohl wie der absoluten, die manche Vorzüge gewährt, besonders aber jeden subjectiven Einfluß unmöglich macht. Sie gehört zu den indirecten Methoden, da sie auf der Anwendung der Elasticitätsgesetze beruht. Ihr Grundprincip ist, die Schwingungen eines für Rechnung und Experiment direct unzugänglicheren elastischen Systems (hier des Stabes) durch einen bequemerer Körper (den Faden) genau gleichzeitig machen zu lassen, so dafs also die Schwingungsmenge des letzteren mit dem ersteren übereinstimmt.

III.

Wenden wir uns jetzt nach diesen Auseinandersetzungen zu dem eigentlichen Zweck der vorliegenden Arbeit, nämlich die Veränderungen in den Tonhöhen elastischer, poröser Stäbe zu untersuchen, wenn tropfbar flüssige Körper in die Poren derselben eintreten. Ich wende mich sofort zu der Besprechung der einzelnen untersuchten Stäbe und werde später die Resultate aus allen zusammenstellen, um dann daraus allgemeinere Schlüsse zu ziehen. Bei einigen charakteristischen Stäben werde ich die zugehörigen Beobachtungstabellen einschieben; bei allen würde es zu umständlich seyn, zumal dadurch doch keine gröfsere Klarheit bewirkt wird.

Stab I.

Die vollständige Untersuchung desselben nach meiner Methode ist durch folgende Tabelle dargestellt.

Tabelle 2.

$L = 1340\text{mm}$, $D = 26\text{mm}$, 3. Cylindrisch.

Beschaffenheit des Stabes	1. Ton (2 Knoten)				3. Ton (4 Knoten)				5. Ton (6 Knoten)				M	S	T					
	No.	p	l	A · M	No.	p	l	A · M	No.	p	l	A · M								
Im A trocknen Zustand	1	5,50	536	1	—	73,46	—	—	—	3	126,20	215	2	946 Gr.	1,242	16°R.				
	2	1,62	304	1	—	8,29	420	1	3	71,75	158	3	4							
	3	0,64	199	2	3	4,65	197	3	5	44,60	124	4	5							
	4	0,42	149	3	4	2,89	157	4	6	31,03	105									
	5	0,30	128	4	5															
N	0,004238 · C				0,004240 · C				0,02036 · C				0,05327 · C				0,05319 · C			
Mit B Wasser gesättigt	—	1,00	294	—	—	40,20	—	—	—	2	157,80	306	1	1157 Gr.	1,520	16°R.				
	2	0,44	193	2	3	19,05	250	2	3	67,70	190	2	3							
	3	0,24	142	3	4	10,45	186	3	4	37,85	142	3	4							
	4	0,14	110	4	5	6,58	145	4	5	24,52	115	4								
	5																			
N	0,003423 · C				0,003422				0,01738 · C				0,1766 · C				0,04289 · C			

Das Schema wird wohl im Allgemeinen nach dem Früheren verständlich seyn. Der Stab ist cylindrisch. Ueber seine Dimensionen findet man über den Columnen die nöthigen Angaben. Die mit *A* und *B* abgegränzten Horizontalcolumnen enthalten das Beobachtungsmaterial für den trockenen und nassen Zustand. Die Spalte *N* enthält die jedesmaligen berechneten Tonhöhen. *M*, *S* und *T* haben die frühere Bedeutung. Ich habe hinter den wahrscheinlichsten Werth der relativen Tonhöhe *N* auch noch die durch das arithmetische Mittel berechnete Zahl in Klammern gesetzt (mit Ausnahme des 3. Tones im Falle *A*). Eine kurze Vergleichung der Gröfsen zeigt sofort, daß keineswegs das einfache Mittel genügt, sondern jederzeit die gegebene Formel zur Berechnung benutzt werden muß.

Die Beobachtung des Tones 3 im trockenen Zustande zeigt eine auffallende Unregelmäßigkeit. Die Belastung *p* macht nämlich von der 3. zur 2. Nebenspannung einen bedeutenden Sprung von 8,29 auf 73,46 Gramm. Die übrigen Zahlen der 5. bis zur 3. Nebenspannung halten sich dagegen innerhalb der scheinbar zu erwartenden Gränzen. Die Berechnung ergibt nun auch für *N* aus der 2. Nebenspannung den Werth 0,02036 *C*, aus der 3., 4. und 5. aber nur 0,01088 *C*. Es zeigt sich nun, besonders im Vergleich mit den Zahlen, die für den 3. Ton im Zustande *B* gefunden sind, daß nur ersterer Werth der richtige seyn kann, während der letztere die Tonhöhe fast um eine Octave zu tief angiebt. Dies erklärt sich nun sehr einfach daraus, daß bei den Nebenspannungen 3, 4, 5 die *longitudinale* Componente der Vibrationen fast allein auf den Faden wirkte, so daß die *transversale* vernichtet wurde. In der That hatte ich bei dieser Beobachtung nicht die erforderliche Vorsicht in der Führung des Fadens gebraucht. Ich füge diesen Fall nur deshalb hier ein, um zu zeigen, wie vorsichtig man in dieser Hinsicht seyn muß. Indessen ergibt sich, wie man sieht, eine Störung sofort aus einer kurzen Vergleichung der Werthe von *p* und *l*.

Aus der Tonhöhebestimmung der aufeinanderfolgenden Schwingungsarten 1, 3 und 5 für die unveränderten trockenen Stäbe haben wir also die Gröſsen erhalten:

$$0,004238 \cdot C, \quad 0,02036 \cdot C \text{ und } 0,05327 \cdot C.$$

Ich versuchte nun zunächst, ob die relativen Verhältnisse dieser Zahlen mit der Theorie übereinstimmen. Nach der Seebeck'schen Arbeit ist die Tonhöhe eines elastischen Stabes, der mit beiden freien Enden ohne Belastung schwingt, bestimmt durch den Ausdruck

$$N = \frac{\varepsilon_i \cdot \pi}{2 l^2} \sqrt{\frac{a \cdot g}{p}},$$

worin $\pi = 3.14 \dots$, l die Länge des Stabes, a das sogenannte „elastische Moment“, g die Intensität der Schwerkraft und p das Gewicht der Längeneinheit des Stabes bedeutet; ε_i ist hier ein Factor, der von der Anzahl der entstehenden Knoten abhängt. Er ist für den

$$\begin{aligned} 1. \text{ Ton; } \varepsilon_1 &= 1,50562 \\ 2. \text{ Ton; } \varepsilon_2 &= 2,49975 \\ 3. \text{ Ton; } \varepsilon_3 &= 3,50010 \\ 4. \text{ Ton; } \varepsilon_4 &= 4,50000 \\ 5. \text{ Ton; } \varepsilon_5 &= 5,50000 \\ &\vdots \\ n^{\text{ten}} \text{ Ton; } \varepsilon_n &= \frac{2n+1}{2}. \end{aligned}$$

Das elastische Moment läßt sich auch durch folgende Gröſsen ausdrücken:

$$a = \frac{E \cdot r^4 \cdot \pi}{4}.$$

Es bedeuten dann E der Elasticitätscoefficient und r der Radius des cylindrischen Stabes.

Da nun für denselben trockenen Stab alle Gröſsen in der Formel für die Schwingungszahl dieselben bleiben mit Ausnahme von ε , indem nacheinander der 1., 3. und 5. Ton untersucht worden ist, so müssen sich die gefundenen Schwingungszahlen verhalten genau wie die entsprechenden Werthe von ε . Sind daher N_1, N_3, N_5 die

bezüglichen Tonhöhen des 1., 3. und 5. Tones, so muß seyn:

$$\frac{N_1}{N_3} = \frac{\tau_1}{\tau_3}, \quad \frac{N_1}{N_5} = \frac{\tau_1}{\tau_5}, \quad \frac{N_3}{N_5} = \frac{\tau_3}{\tau_5}.$$

In der That zeigt sich nun sofort, daß die aus den Experimenten abgeleiteten Verhältnisse von N_1 , N_3 , N_5 hinreichend genau mit der Theorie übereinstimmen. Hierdurch wird außerdem noch zur Genüge die Genauigkeit und Sicherheit meiner Methode bestätigt.

An einem anderen Stabe (No. III) habe ich in ähnlicher Weise die Theorie vollkommen bestätigt gefunden.

Um den Zustand *B*, in dem der Stab mit Wasser getränkt war, herbeizuführen, wurde der Stab, wie schon früher erwähnt, in eine mit Wasser gefüllte Rinne aus Zinkblech gelegt und so lange darin ruhig liegen gelassen, bis er vollständig gesättigt schien, was erfahrungsmäßig innerhalb 15 Minuten eingetreten war. Dann wurde er rasch herausgenommen, mit Löschpapier sorgfältig abgetrocknet, gewogen und an dem Apparate schleunigst untersucht, damit so wenig wie möglich Flüssigkeit verdunsten konnte. Der Gewichtsverlust wurde natürlich sofort wieder an der Waage bestimmt. Meistens war zwar der Verlust während der Versuche sehr gering und hätte allenfalls vernachlässigt werden können. Da jedoch zu einigen bald zu erwähnenden Betrachtungen eine möglichst genaue Bestimmung der Gewichte der Längeneinheit aller Stäbe erforderlich war, so berechnete ich zuerst letztere einzeln aus den Gewichten der Stäbe vor und nach den Versuchen und nahm aus diesen beiden Zahlen das Mittel. Folgende Tabelle giebt die so erhaltenen Werthe von p für alle untersuchten Stäbe und deren verschiedene Zustände.

Tabelle 3.

No. der Stäbe	Gewichte der Längeneinheit der Stäbe pro Gramm und Centimeter						
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
A	7,060	7,507	2,559	6,394	3,615	9,673	5,378
B	8,634	9,118	3,118	8,145	5,100	14,197	7,976
C	—	8,612	—	8,189	4,793	$\left. \begin{matrix} a) 12,903 \\ b) 13,323 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} a) 7,501 \\ b) 7,333 \end{matrix} \right\}$
D	—	8,790	—	8,078	—	13,884	7,951

Für den Fall *C* finden wir unter VI und VII zwei Werthe *a*) und *b*) angegeben. Dies kommt daher, weil die Stäbe VI und VII parallelipedisch sind und die Tonhöhen der Stäbe bestimmt wurden, indem sowohl nach der einen als nach der anderen Seite hin die Stäbe zum Tönen gebracht wurden. Die Sättigungen mit Flüssigkeit waren dann auch in beiden Fällen etwas verschieden.

Für den mit Wasser gesättigten Zustand des voliegenden Gypsstabes ergaben sich folgende Werthe für die Tonhöhen des 1., 3. und 5. Tones:

0,003423 . *C*, 0,01738 . *C* und 0,04289 . *C*.

Die Constante *C* bleibt hier natürlich dieselbe wie im trockenen Zustande.

Man sieht sofort durch Vergleichung dieser Zahlen mit den obigen, daß durch das Eintreten der tropfbaren Flüssigkeit eine bedeutende *Erniedrigung der Schwingungsmenge* hervorgebracht worden ist. Nehmen wir die Schwingungsmenge des *trockenen* Stabes für die Sec. = 1, so wäre nach obigen Zahlenverhältnissen die Tonhöhe des Stabes für alle 3 Töne nahezu $= \frac{1}{5}$, wenn er mit Wasser gesättigt ist.

Ich habe sodann untersucht, ob die Tonverhältnisse des 1., 3. und 5. Tones dieselben bleiben, wie bei dem trockenen Stabe, ob also trotz der Tonerniedrigung die Zahlen ϵ_1 , ϵ_3 und ϵ_5 denselben Werth behalten. In der That erhält man durch Division der obigen Tonhöhen durcheinander sofort die Größen ϵ .

Es geht daraus zunächst hervor, daß die eingesaugte Flüssigkeit nicht etwa als Belastung des schwingenden Stabes wirkt, sondern daß sie vielmehr im Verein mit den Moleculen des starren Körpers gewissermaßen einen neuen elastischen Stab bildet, der die Theorie der starren Systeme genau befolgt; nur entsteht durch das Hinzutreten der Flüssigkeit eine Veränderung der molecularen Beschaffenheit der Stäbe, die sich in einer Erniedrigung der Tonhöhe kundgiebt.

Die nähere Art und Weise der molecularen Veränderung wird später besprochen werden. Bleiben wir zunächst noch an der Untersuchung des ersten Stabes.

Ich versuchte nämlich aufser der experimentellen Bestimmung der Tonverhältnisse und Tonveränderungen dieses und der folgenden Stäbe noch einige Berechnungen nach der Theorie unter gewissen Annahmen durchzuführen. Der theoretische Ausdruck für die Schwingungsmenge elastischer Stäbe ist nach dem Vorausgehenden auch für nasse Stäbe direct anwendbar. Die Flüssigkeit bringt im Stabe keine merkliche Veränderung der Dimensionen hervor. Die einzigen veränderten Gröfsen sind zunächst 1) das Gewicht der Längeneinheit des Stabes (p) und möglicherweise 2) der Elasticitätscoëfficient (E).

Die Bestimmung von p ist höchst einfach. Hätte ich nun noch auf leichte und sichere Weise E bestimmen können, so würde ich andererseits auch aus obiger Formel die Tonveränderungen leicht erhalten haben. In der Bestimmung von E liegt aber eben die Schwierigkeit des angedeuteten Wegs, den ich im Beginn dieser Arbeit betreten wollte. Ich habe nun versucht, die relativen Tonhöhen sämtlicher Stäbe in ihren verschiedenen Zuständen unter vorläufiger Annahme eines für alle Fälle constanten Elasticitätsmodulus zu berechnen, und die so erhaltenen Zahlen mit den experimentell bestimmten zu vergleichen. Ehe ich jedoch zu den hierhergehörigen Tabellen und daraus gezogenen Schlüssen übergehe, will ich noch kurz die übrigen Stäbe besprechen.

Stab II.

Tabelle 4.

 $L = 670\text{mm}$, $D = 27\text{mm}$, $L_H = \frac{1}{3}L$, Cylindrisch.

Beschaffenheit des Stabes	A			B			C			D		
	No.	p	l	A. M	No.	p	l	A. M	No.	p	l	A. M
1. Ton (Grundton) mit 2 Knoten	3	13,45	258	2	3	9,20	252	2	4	6,73	181	3
	4	7,70	189	3	4	5,07	188	3	5	4,34	143	4
	5	4,82	149	4	5	3,27	149	4	6	3,03	120	5
	6	3,36	124	5	6	2,32	126	5	7	2,25	104	6
	7	2,39	107	6	7	1,68	107	6	8	1,67	90,0	7
N		0,01460 . C				0,01203 . C				0,01443 . C		
M in Gr. S T. R		503 1,312 17°				611 1,593 13°,5				577 1,249 15°		
										589 1,270 17°		

eingel
Verf
drisc
währ
auch
ganz
len
viern
Wir
tigt,
vom
D
Früh
auch
wurd
(spe
Die
vorg
I
nahm
zu b
Oel,
E
nung
die i
selbe

dies
einer
einar
versc
E

Pog

Auch hier habe ich die bezügliche Beobachtungstabelle eingefügt, zumal ich daran noch weitere Erläuterungen des Verfahrens knüpfen will. Der Stab war auch hier cylindrisch. Seine Länge war gleich der Hälfte des vorigen, während die Dicke fast dieselbe war. Es müssen daher auch die entsprechenden Tönhöhen des Stabes II in einem ganz bestimmten Verhältniß zu I stehen. Aus den Zahlen geht hervor, daß die Tönhöhen von II fast genau viermal so groß sind, als die entsprechenden des Stabes I. Wir finden also auch hier die theoretische Formel bestätigt, wonach die Schwingungszahl umgekehrt abhängig ist vom Quadrat der Stablänge.

Die übrige Einrichtung des Schemas ist nach dem Früheren leicht verständlich. Wir sehen, daß der Stab auch unter dem Einflusse von *Alkohol* und *Oel* beobachtet wurde. Ich verwandte Alkohol von 84 Gewichtsprocenten (spec. Gew. = 0,837) und Oel mit dem spec. Gew. = 0,910. Die Sättigung mit diesen Flüssigkeiten wurde ganz so vorgenommen, wie bei Wasser.

In allen Fällen ist auch hier eine beträchtliche Abnahme der Tonhöhe unter dem Einflusse der Flüssigkeiten zu bemerken; am bedeutendsten bei Wasser, geringer bei Oel, am wenigsten nur bei Alkohol.

Bezüglich der bei Stab I am Ende erwähnten Rechnung nach der Theorie muß noch erwähnt werden, daß die in der theoretischen Formel für die Tonhöhe für denselben Stab als constant angenommene Größe

$$\frac{r^2}{4l^2} \sqrt{\pi^3 \cdot g \cdot E} = G$$

diesmal auch noch den Factor ε enthält, weil wir nur einen Ton (1.) untersuchten, während dort 3 Töne nach einander betrachtet wurden und demgemäß auch ε drei verschiedene Werthe annahm.

Für den Stab II können wir daher setzen:

$$\frac{\varepsilon^2 \cdot r^2}{4l^2} \sqrt{\pi^3 \cdot g \cdot E} = D = \text{Const.}$$

Stab III.

Derselbe wurde nur auf den Einfluss von Wasser untersucht, dagegen aber zwei Töne, nämlich Ton 1 und 3 hereingezogen. Wie schon bei Stab I erwähnt, ist auch hier das Verhältniss dieser Töne untereinander einestheils im trockenen, anderentheils im nassen Zustande dasselbe geblieben. Auch hier ist eine Abnahme der Tonhöhe bemerkt worden. Später werde ich noch eine vollständige Zusammenstellung aller Tonhöhen geben. Natürlich ist bei der Rechnung der Theorie aus den schon erwähnten Constanten auch hier wieder der Factor ε wegzulassen, da derselbe für den 1. und 3. Ton verschiedene Werthe annimmt.

Stab IV.

Dieser hatte dieselbe Dicke wie Stab I und II, und war ausserdem genau so lang wie Stab III. Auch hier wurde nicht unterlassen Vergleichen der Tonhöhen mit den entsprechenden Tönen von I, II, III anzustellen, wodurch in ähnlicher Weise wie früher die Theorie bestätigt wurde. Der Stab wurde mit allen drei Flüssigkeiten behandelt. Die Resultate schliessen sich denen der früheren Untersuchungen genau an.

Diesmal enthalten die Rechnungen nach der Theorie wieder die Grösse ε als constant, da nur der Ton 1 erzeugt wurde.

Stab V.

Wie alle vorhergehenden war auch dieser Stab cylindrisch; er wurde nur in den Zuständen A, B und C untersucht. Im übrigen schliesst sich derselbe nach den Resultaten der Beobachtungen an die bisherigen Stäbe an.

Stab VI.

Seine Gestalt war parallelopipedisch. Auch für ihn habe ich zur grösseren Uebersichtlichkeit das Untersuchungsschema eingeschoben.

Ich liess den Stab in seinen vier Zuständen nach zwei verschiedenen Richtungen schwingen, nämlich a) nach der breiten und b) nach der schmalen Seite hin. Darnach theilt sich das Beobachtungsmaterial in zwei Gruppen. Das übrige der Tabelle ist leicht verständlich. Unter den Angaben für M, S und T finden sich aber die Angaben für die Fälle a) und b) separat.

Ich liefs den Stab in seinen vier Zuständen nach zwei verschiedenen Richtungen schwingen, nämlich a) nach der breiten und b) nach der schmälern Seite hin. Darnach theilt sich das Beobachtungsmaterial in zwei Gruppen. Das übrige der Tabelle ist leicht verständlich. Unter den Angaben für *M*, *S* und *T* finden sich öfter die Angaben für die Fälle a) und b) getrennt.

Tabelle 5.

$$L = 1166^{\text{mm}}, \quad D_a = 20^{\text{mm}}, \quad D_b = 29,9^{\text{mm}}$$

Beschaffenheit des Stabes	A			B			C			D					
	No.	p	l	A. M	No.	p	l	A. M	No.	p	l	A. M			
a) 3. Ton 4 Knoten (auf der schmalen Seite)	5 6 7 8 10	16,45 10,85 8,05 6,26 4,07	159 131 114 99,0 80,0	4 5 6 7 9	3 4 5 6 7	24,40 13,30 8,98 6,00 4,20	267 198 157 130 112	2 3 4 5 6	5 6 7 8 10	11,95 7,95 5,75 4,29 2,77	161 132 113 98,0 78,6	4 5 6 7 9	17,40 11,47 7,80 6,20 3,48	203 162 135 115 90,0	3 4 5 6 8
N	0,02519. C				0,01863. C				0,02120. C				0,02106. C		
b) 3. Ton 4 Knoten (auf der breiten Seite)	4 5 6 7 9	12,35 7,95 5,51 4,07 2,35	200 158 131 114 87,0	3 4 5 6 8	3 4 5 7 10	11,40 6,80 4,27 2,05 0,97	259 196 155 111 77,0	2 3 4 6 9	5 6 7 8 9	5,85 3,91 2,67 1,99 1,60	155 131 111 97,5 87,5	4 5 6 7 8	8,40 5,65 3,83 2,85 2,12	199 162 134 114 100	3 4 5 6 7
N	0,01772. C				0,01299. C				0,01474. C				0,01462. C		
M in Gr. S T ^o . R	627 0,898 a) 20° b) 19°				930 1,334 a) 19° b) 18°,5				a) 875 b) 855 1,255 b) 1,226 18°,5				927 1,193 17°		

Wir erhalten hier zwei Reihen von Schwingungszahlen, die eine bezieht sich also auf den Fall, daß die Schwingungen senkrecht zur schmalen Seitenfläche (a), die andere, daß dieselben senkrecht zur breiten Seitenfläche (b) geschehen.

Für beide Fälle erhält der Ausdruck für das elastische Moment in der Formel für die Schwingungszahl auch verschiedene Werthe:

Für die erste Schwingungsart ist

$$a = \frac{E \cdot a \cdot b^3}{12},$$

für die zweite Art

$$a = \frac{E \cdot b \cdot a^3}{12}.$$

Alle übrigen Größen bleiben bei den Schwingungsrichtungen in den entsprechenden Fällen A , B , C und D dieselben, so daß die zugehörigen Schwingungszahlen in folgendem Verhältniß stehen:

$$\frac{N_a}{N_b} = \frac{b^3}{a^3}.$$

Diese Relation wird nun auch sofort durch das Experiment bestätigt, so daß auch hier Uebereinstimmung mit der Theorie stattfindet.

Die bewußte Berechnung der Schwingungszahlen aus der Formel unter der vorläufigen Annahme eines constanten E muß für die Fälle a) und b) natürlich ebenso verschiedene constante Factoren einführen, die ich mit D_a und D_b bezeichnet habe; hiernach ist

$$D_a = \frac{e_1^3 \cdot \pi}{2 l_2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot a \cdot b^3}{12} \cdot g} \quad \text{und} \quad D_b = \frac{e_1^3 \cdot \pi}{2 l^2} \sqrt{\frac{E \cdot b \cdot a^3}{12} \cdot g}.$$

Später wird sich zeigen, daß auch hier die Resultate ähnlich wie die früheren ausfallen.

Der letzte Stab endlich

Stab VII

war auch von rechteckigem Querschnitt. Die Untersu-

chung geschah ganz genau so wie bei VI. Weitere Bemerkungen habe ich an denselben nicht zu knüpfen.

Ich habe nun, um die weiteren Betrachtungen zu erleichtern, die auf experimentellem Wege gefundenen Tonhöhen für alle Stäbe und deren Töne in den verschiedenen Zuständen durch folgende Tabelle zusammengefaßt.

Tabelle 6.

No. d. Stäbe		A	B	C	D
I. Ton	1	0,004238 . C	0,003423 . C	—	—
	3	0,02036 . C	0,01738 . C	—	—
	5	0,05327 . C	0,04289 . C	—	—
II. Ton	1	0,01460 . C	0,01203 . C	0,01443 . C	0,01411 . C
III. Ton	1	0,01237 . C	0,009949 . C	—	—
	3	0,06577 . C	0,0549 . C	—	—
IV. Ton	1	0,01843 . C	0,01337 . C	0,01562 . C	0,01601 . C
V. Ton	1	0,008283 . C	0,005816 . C	0,007028 . C	—
VI. Ton	a	0,03258 . C	0,02171 . C	0,02405 . C	0,02387 . C
	b	0,02492 . C	0,01687 . C	0,01744 . C	0,01878 . C
VII. Ton	a	0,02519 . C	0,01863 . C	0,02120 . C	0,02106 . C
	b	0,01772 . C	0,01299 . C	0,01474 . C	0,01462 . C

Alle Zahlen besitzen natürlich ganz denselben Factor *C* die sogen. „Fadenconstante“. Ein Blick auf das Schema bestätigt nun vollständig den Satz, den ich schon vorher ausgesprochen habe:

Daß poröse Stäbe durch aufgesaugte Flüssigkeiten eine Erniedrigung in ihrer Tonhöhe erfahren, und zwar ist sie hier am größten bei Imbibition von Wasser, geringer bei Oel, am kleinsten aber bei Alkohol.

Ich glaubte nun, daß vielleicht in der Verringerung der Schwingungszahlen bei den einzelnen Stäben eine gewisse Gesetzmäßigkeit bestände. Eine solche liefse sich nun, falls sie überhaupt vorhanden wäre, am einfachsten dadurch untersuchen, daß man die *Verhältnisse* aus den

Tonhöhen der Stäbe für die einzelnen Fälle bildet, so wie es folgende Zusammenstellung zeigt:

Tabelle 7.

No. d. St.		A : B	A : C	A : D	B : C	B : D	C : D
I.	1	1,2382	—	—	—	—	—
	3	1,1717	—	—	—	—	—
	5	1,2419	—	—	—	—	—
II.	1	1,2137	1,0349	1,0349	0,6619	0,8527	1,0233
III.	1	1,2431	—	—	—	—	—
	3	1,2159	—	—	—	—	—
IV.	1	1,3788	1,1800	1,1511	0,8559	0,8348	0,9982
V.	1	1,4243	1,1787	—	0,8275	—	—
VI.	^a	1,5011	1,3530	1,3652	0,8808	0,9095	1,0090
	^b	1,4777	1,4286	1,3262	0,9668	0,8974	0,9283
VII.	^a	1,3524	1,1882	1,1965	0,8786	0,8847	1,0069
	^b	1,3646	1,2023	1,2120	0,8810	0,8882	1,0081

Sämmtliche Verticalcolonnen enthalten die Quotienten aus den Schwingungszahlen nacheinander des trockenen Zustandes zu den drei Fällen, in denen die Stäbe Flüssigkeit aufgesaugt haben, also $A : B$, $A : C$, $A : D$; sodann schien es auch wünschenswerth, die Tonveränderungen bei den mit Flüssigkeit gefüllten Stäben untereinander zu bestimmen, daher berechnete ich noch die Verhältnisse $B : C$, $B : D$ und $C : D$. Aus diesen Zahlenverhältnissen lassen sich nun sehr leicht und einfach die Veränderungen ablesen. Man sieht sofort Folgendes ein:

In der Erniedrigung der Schwingungsmenge durch Wasser besteht bei den einzelnen Stäben zunächst keine Gesetzmäßigkeit, indessen überschreitet die Abnahme trotz der verschiedenen Structur der Stäbe nicht gewisse Grenzen.

Regelmäßiger ist die Tonveränderung durch Alkohol und Oel; eine fast vollkommene Gesetzmäßigkeit tritt indessen ein, wenn man die Tonveränderungen der mit Flüssig-

keit getränkten Stäbe untereinander und nicht mit dem trockenen Zustand vergleicht.

Den ersten Theil dieses Resultats kann man eben sehr leicht aus der verschiedenartigen Structur der Gypsmasse erklären. Die Regelmäßigkeit bei Wasser, Oel und Alkohol unter einander ist daher zu erwarten, weil die Flüssigkeiten in gleicher Weise die Poren der Stäbe erfüllen.

Die nächste Frage wäre jetzt: Durch welchen molecularen Einfluß der Flüssigkeiten im Innern der elastischen Stäbe ist die constatirte Veränderung bewirkt?

Wie ich schon bei der Besprechung von Stab I gezeigt habe, kann nach der Theorie die Tonabnahme nur durch Veränderung des Gewichts der Längeneinheit der Stäbe, oder durch Veränderung des Elasticitätsmodulus, dann auch drittens durch beides zugleich bewirkt werden. Der Einfluß der Gewichtsveränderung ist unzweifelhaft. Um dieses noch recht anschaulich zu machen, habe ich bezüglich der Verhältnisse der Gewichte der Längeneinheiten eine ähnliche Tabelle entworfen, wie die Tabelle 7 für die Schwingungszahlen.

Tabelle 8.

No. d. St.		A : B	A : C	A : D	B : C	B : D	C : D
I.	1	0,8213	—	—	—	—	—
	3	0,8237	—	—	—	—	—
	5	0,8266	—	—	—	—	—
II.	1	0,8252	0,8792	0,8539	1,0654	1,0347	0,9712
III.	1	0,8279	—	—	—	—	—
	3		—	—	—	—	—
IV.	1	0,7876	0,7896	0,7916	1,0048	1,0051	1,0025
V.	1	0,7134	0,7636	—	1,0705	—	—
VI.	3 ^a	0,6844	0,7573	0,6966	1,1066	1,0179	0,9198
	5 ^b		0,7325		1,0703		0,9510
VII.	3 ^a	0,6761	0,7293	0,6764	1,0787	1,0005	0,9275
	5 ^b	0,6761	0,7438		1,1003		0,9093

Bei dem Stabe I habe ich unter $A:B$ für die 3 Töne auch verschiedene Werthe der Gewichte gesetzt, obgleich doch in Tabelle 3 sowohl für A als für B nur je ein Werth vorkommt. In letzterer Tabelle habe ich indessen der Einfachheit halber nicht die etwas verschiedenen Sättigungen des Stabes bei den drei Tönen berücksichtigt, obwohl dieselben, wie aus obiger Tabelle hervorgeht, nicht ohne Einfluß sind. In den Vergleichen mit Alkohol finden sich bei VI und VII für a) und b) ebenfalls zwei Zahlen, indem bei einer so rasch verdampfenden Flüssigkeit doch nicht so leicht die Sättigung constant bleiben kann, so daßs nothwendigerweise für beide Fälle verschiedene Verhältnißzahlen berechnet werden mußten.

Die Tabelle zeigt, daßs die Stäbe in den drei ersten Fällen, wo sie nacheinander mit Wasser, Alkohol und Oel getränkt wurden, eine Gewichtsvermehrung erfahren haben. Aus den zwei vorletzten Verticalcolonnen, in denen die Gewichte des Stabs mit Alkohol und Oel mit denen der mit Wasser getränkten Stäbe verglichen werden, erschen wir dagegen, daßs das Gewicht der Längeneinheit verringert wird. Im letzten Falle, wo Oel und Alkohol entgegengetreten, tritt wieder eine Gewichtsvermehrung ein. Da nun nach der Theorie die Tonhöhe umgekehrt proportional der Wurzel aus dem Gewicht der Längeneinheit ist, so müßte, sollte die Tonhöhe *nur* durch die Veränderung des Gewichts beeinflusst seyn, in den ersten drei Fällen eine Erniedrigung der Schwingungszahlen, in den beiden folgenden eine Erhöhung und im letzten wieder eine Erniedrigung eintreten, und zwar obigem Gesetze genau entsprechend.

Aus der Tabelle 6 und 7 geht dies nun bei oberflächlicher Beobachtung auch hervor. Nur bei Alkohol und Oel treten Unregelmäßigkeiten hervor, die sich daraus erklären, daßs beide Flüssigkeiten die Tonhöhe beinahe um dieselbe Gröfse herabdrücken.

Nun ist offenbar die Veränderung in dem Gewicht der Längeneinheit des Stabes abhängig von dem specifischen

Gew
zunä

G
je
O
is
F
V

Wur
aus
aber
die
zuzu
wiss
eine
wied
ben

No

I.

II.

III.

IV.

V.

VI.

VII.

mit

Gewichte der verwandten Flüssigkeiten, wir sind daher zunächst zu dem Schlusse berechtigt:

Die Tonveränderung ist abhängig von dem specifischen Gewichte der imbibirten Flüssigkeit; sie ist desto größer, je höher das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist. Oder auch: Die Schwingungszahl eines solchen Stabes ist umgekehrt abhängig vom specifischen Gewicht der Flüssigkeit.

Wir sehen indessen, daß das obige genau umgekehrte Wurzelverhältniß keineswegs erfüllt ist, wie sich schon aus einer einfachen Vergleichung der Zahlen ergibt. Um aber genau zu sehen, wie groß noch die Veränderung ist, die noch andern Einflüssen, also dem Elasticitätscoefficient zuzuschreiben wäre, habe ich bei allen Stäben, wie wir wissen, eine Berechnung der Tonhöhen unter Annahme eines Constanten E durchgeführt. Ich gebe auch hier wieder eine Zusammenstellung dieser Werthe, da dieselben noch für später von Interesse sind.

Tabelle 9.

No. d. St.	A	B	C	D
I. Ton $\begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 5 \end{pmatrix}$	$0,8535 \cdot G_1$ $4,611 \cdot G_3$ $11,387 \cdot G_5$	$0,7736 \cdot G_1$ $4,185 \cdot G_3$ $10,354 \cdot G_5$	— — —	— — —
II. Ton 1	$0,3650 \cdot D$	$0,3316 \cdot D$	$0,3423 \cdot D$	$0,3373 \cdot D$
III. Ton $\begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$	$1,4178 \cdot G_1$ $7,660 \cdot G_3$	$1,2900 \cdot G_1$ $6,969 \cdot G_3$	— —	— —
IV. Ton 1	$0,3955 \cdot D$	$0,3510 \cdot D$	$0,3514 \cdot D$	$0,3519 \cdot D$
V. Ton 1	$0,5260 \cdot D$	$0,4442 \cdot D$	$0,4596 \cdot D$	—
VI. Ton $\begin{pmatrix} a \\ 3 \\ b \end{pmatrix}$	$0,3216 \cdot D_a$ $0,3216 \cdot D_b$	$0,2660 \cdot D_a$ $0,2660 \cdot D_b$	$0,2798 \cdot D_a$ $0,2752 \cdot D_b$	$0,2683 \cdot D_a$ $0,2683 \cdot D_b$
VII. Ton $\begin{pmatrix} a \\ 3 \\ b \end{pmatrix}$	$0,4312 \cdot D_a$ $0,4312 \cdot D_b$	$0,3546 \cdot D_a$ $0,3546 \cdot D_b$	$0,3683 \cdot D_a$ $0,3719 \cdot D_b$	$0,3546 \cdot D_a$ $0,3546 \cdot D_b$

Wir sehen sofort durch Vergleichung dieser Tabelle mit Tab. 6, daß noch ein anderer wichtiger Factor bei

der Abnahme der Schwingungen im Spiele ist. Noch besser tritt dies hervor, wenn wir die bekannten Verhältnisse zwischen A , B und C bilden, weil obige Zahlen mit Constanten behaftet sind, die ihrer Natur nach gar nicht mit der Fadenconstante C zusammenhängen. Zwar sind die Constanten bei obigen Gröſsen nicht wie bei der Tab. 6 für die verschiedenen Stäbe dieselben, doch ändern sie wenigstens bei demselben Stab ihre Gröſse nicht und lassen sich daher innerhalb dieser Gränze die Verhältnisse der obigen Zahlen mit den entsprechenden in der Tabelle vergleichen. Die berechneten Verhältnisse finden sich in folgender Tafel:

Tabelle 10.

No. d. St.		$A : B$	$A : C$	$A : D$	$B : C$	$B : D$	$C : D$
I.	1	1,1033	—	—	—	—	—
	3	1,1018	—	—	—	—	—
	5	1,0998	—	—	—	—	—
II.	1	1,1008	1,0664	1,1074	0,9687	0,9831	1,0148
III.	1	1,0990	—	—	—	—	—
	3	1,0990	—	—	—	—	—
IV.	1	1,1267	1,1254	1,1238	0,9988	0,9972	0,9986
V.	1	1,1841	1,1445	—	0,9665	—	—
VI.	3 $\begin{smallmatrix} a \\ b \end{smallmatrix}$	1,3335	1,1492	1,1984	0,9506	0,9913	1,0428
			1,1684		0,9665		1,0257
VII.	3 $\begin{smallmatrix} a \\ b \end{smallmatrix}$	1,2162	1,1708	1,2159	0,9627	0,9998	1,0885
			1,1593		0,9532		1,0732

Ein vergleichender Blick zwischen dieser Tabelle und Tab. 7 bestätigt sofort die Vermuthung, daß auch der Elasticitätsmodulus durch seine Veränderung einen bedeutenden Einfluß auf die Abnahme der Tönhöhe habe. Um nun die Untersuchung zu vervollständigen und besonders die numerischen Werthe der Aenderung von E festzustellen, schlage ich noch folgenden Weg zur Bestimmung der Elasticitätscoëfficienten ein.

Nach meiner Methode wird die Tonhöhe eines Stabes aus den Fadenschwingungen berechnet nach der Taylor'schen Formel:

$$N = C \sqrt{\frac{P}{l}}.$$

Ich habe die Spannung diesmal mit P bezeichnet um mit dem Folgenden nicht in Collision zu gerathen.

Nach der Theorie der elastischen Stäbe ist dieselbe auch gegeben durch den Ausdruck.

$$N = D \sqrt{\frac{E}{P}}.$$

Daher ist für denselben Ton:

$$C \cdot \sqrt{\frac{P}{l}} = D \cdot \sqrt{\frac{E}{P}}.$$

Der Quotient $\frac{\sqrt{P}}{l} = R$ ist aus den Beobachtungen berechnet und kann einfach aus Tab. 6 entnommen werden. Ebenso ist $\frac{1}{\sqrt{P}} = S$ bestimmt und findet sich in Tab. 9. Da nun C und D für denselben Ton constant bleiben, so ist es möglich mit obiger Gleichung den Elasticitätsmodulus zu finden:

$$C \cdot R = D \cdot S \cdot \sqrt{E}$$

oder

$$E = \left(\frac{C}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{R}{S}\right)^2.$$

Fassen wir $\frac{C}{D}$ zu einer Constanten T zusammen, so erhalten wir für den Modulus

$$E = T^2 \cdot \frac{R^2}{S^2}.$$

Auf diese Formel gestützt, berechnete ich die Elasticitätscoëfficienten für alle Stäbe und alle Zustände derselben. Alle Zahlen sind natürlich mit dem für denselben Ton und in vielen Fällen auch für denselben Stab constanten Factor T^2 behaftet. Da hier nur die relativen Werthe von E wichtig sind, so habe ich auch nur die vielgebrauchten

Verhältnisse zwischen der Module für A , B , C und D zusammengestellt.

Tabelle 11.

No. d. St.		$A : B$	$A : C$	$A : D$	$B : C$	$B : D$	$C : D$
I.	1	1,2595	—	—	—	—	—
	3	1,1308	—	—	—	—	—
	5	1,2753	—	—	—	—	—
II.	1	1,2156	0,8995	0,9145	0,7397	0,7523	1,0167
III.	1	1,2794	—	—	—	—	—
	3	1,2241	—	—	—	—	—
IV.	1	1,4976	1,0995	1,0491	0,7342	0,7005	0,9541
V.	1	1,4468	1,0607	—	0,7364	—	—
VI.	a	1,5417	1,3861	1,2918	0,8991	0,8418	0,9363
	b	1,4942	1,4949	1,2246	1,0005	0,8211	0,8193
VII.	a	1,2365	1,0299	0,9683	0,8329	0,7830	0,9401
	b	1,2589	1,0705	0,9936	0,8543	0,7893	0,9239

Die Werthe der Elasticitätscoefficienten sind hiernach leicht verständlich. Sie zeigt, daß die Gröfse E ganz außerordentlich geändert wird, derart, daß bei den Stäben IV, V und VI der Elasticitätscoefficient durch Wasser fast um ein Drittel abnimmt.

Wie man sieht, ist man auch hier zu folgendem zusammenfassenden Ausspruch berechtigt:

Die Tonveränderung durch Aufsaugen von Flüssigkeit wird zugleich auch durch eine Aenderung, und zwar durch Abnahme des Elasticitätscoefficienten bewirkt; am stärksten tritt dies bei Wasser, geringer bei Alkohol, am wenigsten aber bei Oel hervor.

Eine Gesetzmäßigkeit der Veränderung der Tönhöhen der Gypsstäbe im Vergleich mit dem trockenen Stab ist auch hier nicht zu erkennen. Die Vergleichung der Zustände eines jeden Stabs, wenn er Flüssigkeit aufgenommen hat, ergiebt eine Aenderung des Modulus um eine

bestimmte Gröfse, die nur für die verschiedenen Flüssigkeiten verschieden ist, die gegenübergestellt werden.

Zum Schlusse der Betrachtungen will ich noch darauf aufmerksam machen, daß man sehr einfach die hier aus-einandergesetzte Methode der Tonhöhebestimmung dazu verwenden kann, auf indirectem Wege den Elasticitätsmodulus eines Stabes aus seinen Transversalschwingungen zu bestimmen. Will man blos den relativen Coëfficienten berechnen, so hat man nach obiger Formel nur die Gröfßen l , P und p zu bestimmen, um dadurch rasch und sicher einen relativen Werth für E zu erhalten.

Hiermit will ich diese Darstellung beschließen. Ich habe versucht, die aufgeworfenen Fragen nach ihren Einzelheiten zu beantworten, soweit es mit den vorhandenen Mitteln möglich war. Man wird manche Ungenauigkeit in den Resultaten finden. Es ist dies jedoch nicht in der Methode, sondern vielmehr in der Schwierigkeit des Experimentirens mit solch rasch verdampfenden Flüssigkeiten gelegen.

Marburg, im April 1875.

II. *Ueber Reibung und Wärmeleitung verdünnter Gase;* *von A. Kundt und E. Warburg.*

(Fortsetzung von S. 365.)

§. 15.

Die Quecksilberpumpe.

Die benutzte Pumpe, von der auf der Fig. 2 Taf. IX noch ein Theil sichtbar ist, war eine gewöhnliche Quecksilberpumpe von Geißler in Bonn.

Die Pumpe hat oberhalb des Recipienten R drei Hähne H_1 H_2 H_3 . Von diesen sperrt der Hahn H_1 den Recipienten von dem auszupumpenden Volumen, der Hahn H_3 denselben gegen die Atmosphäre ab. Der Hahn H_2 ersetzt die Verbindung der Hg-Pumpe mit irgend einer andern Luftpumpe, indem er es ermöglicht, sehr geringe Mengen von Luft, die aus einem Raum durch die Hg-Pumpe weggeschafft werden sollen, statt in die Atmosphäre in ein Vacuum eintreten zu lassen.

Soll nämlich ein Raum ausgepumpt werden, so läßt man zunächst H_2 geöffnet, und benutzt nur H_1 und H_3 . Erst wenn die Verdünnung so weit gediehen ist, daß die kleine Luftblase, welche nach Heraufwinden des Hg sich unter H_1 befindet, nicht mehr gut durch H_3 und durch das über diesem befindliche Hg gegen den Druck der Atmosphäre austritt, kommt H_2 zur Wirksamkeit.

Man läßt alsdann das Hg herunter bis eben oberhalb H_2 und schließt H_2 . Ist dann das Quecksilber ganz heruntergelassen, das Gas aus dem auszupumpenden Raum in den Recipienten übergetreten, und ist das Hg nach Schluß von H_1 wieder in die Höhe gewunden, so kann man die etwa noch vorhandene kleine Luftblase unter H_1 und H_3 treten lassen. In dieses tritt sie begreiflicher Weise sehr viel leichter in das Vacuum zwischen H_1 als durch H_3 in die Atmosphäre. So sammelt man allmählich die noch austretenden Bläschen zwischen H_2 und H_3 , läßt dann die angesammelte Luft durch H_1 treten und beginnt nun von Neuem mit Benutzung von H_2 .

Ohne Benutzung des Hahnes H_2 wäre es uns nicht möglich gewesen die Evacuierung zu erreichen, die wir in unserm Reibungsapparat (cf. unten §. 25), besonders aber in den Räumen in denen wir die Abkühlung eines Thermometers beobachteten, wirklich erreicht haben.

Der Druck der Gase in den Apparaten wurde im Allgemeinen durch die Höhe der Quecksilbersäule in der Pumpe selbst oder durch ein kleines an der Pumpe befindliches Manometer bestimmt. Für kleine Drucke ist indefs

das Manometer schon wegen der Aenderungen, welche zuweilen die Capillaritätsconstante zwischen Hg und Glas erfährt, nicht wohl verwendbar.

Wir haben daher folgende Methode angewandt.

Es wurde der durch Quecksilberwägung ermittelte Inhalt des Recipienten mit einem andern bekannten auszupumpenden Volumen verbunden, und an den obern cylindrischen Theil der Pumpe zwischen H_1 und H_2 (cf. Figur) eine Millimetertheilung angebracht.

Es sey nun im angesetzten Volumen und Recipienten die Luft verdünnt bis zu einem noch sicher und ohne großen procentischen Fehler am Manometer ablesbaren Druck. Nachdem dieser Druck möglichst genau bestimmt ist, wird weiter evacuirt und nach dem jedesmaligen Abschließen des Hahnes H_1 und Aufwinden des Hg bei geschlossenem Hahn H_1 der Stand des Quecksilbers unter H_2 an der Scale abgelesen.

Aus der Kenntniß der Volumina des Recipienten und des auszupumpenden Raumes, der Anzahl der Entleerungen des Recipienten und der Kenntniß des Druckes, von dem ausgegangen wurde, kann für die verschiedenen an der Scale abgelesenen Quecksilberstände der Druck des Gases in dem auszupumpenden Raum ermittelt werden. Ist dann später beim Auspumpen *irgend eines* Volumens H_1 und H_2 geschlossen, das Hg in die Höhe gewunden und steht das Hg an einer der früher abgelesenen Stellen, so hat man in dem evacuirten Raum auch genau den früher berechneten Druck. Steht das Hg zwischen zwei der abgelesenen Marken, so kann der Druck leicht durch Interpolation gefunden werden.

Das angegebene Verfahren ist aber nicht mehr anwendbar für Drucke kleiner als etwa $0^{\text{mm}},1$, weil unter dieser Gränze die Menge Luft unter H_2 so klein ist, daß der Stand des Hg nicht mehr genau bestimmt werden kann. Man könnte freilich den Druck bei weiterem Evacuiren noch weiter aus der Anzahl der Exantlirungen des Recipienten berechnen, indessen schienen uns diese Rechnun-

gen ziemlich illusorisch, da die kleinen unter H_2 comprimierten Luftmengen nach gerade vorhandenen Zufälligkeiten beim Oeffnen von H_2 austreten oder nicht. Wir haben daher im Allgemeinen unter $\frac{1}{10}^{mm}$ keinen Druck mehr angegeben, um so weniger als bei 20^0 nach Regnault die Tension des Hg-Dampfes bereits $0^{mm},04$ beträgt. Die Stadien der weiteren Entleerung (unter $\frac{1}{10}^{mm}$) haben wir in der Folge einfach als Vacuum, besseres Vacuum, bestes Vacuum bezeichnet.

§. 16.

Darstellung und Trocknen der Gase.

Wir haben zu unseren Versuchen drei Gase benutzt, atmosphärische Luft, Wasserstoff und Kohlensäure. Die Luft wurde aus dem Zimmer genommen und nicht von ihrer Kohlensäure befreit. Das Hg wurde mittels *reinen* Zinks aus reiner verdünnter Schwefelsäure; die Kohlensäure aus reinem doppelkohlensaurem Natron mittels reiner sehr verdünnter Schwefelsäure entwickelt.

Besondere Sorgfalt wurde auf das Trocknen der Gase verwendet.

Nachdem dieselben eine mit Wasser und eine mit reiner Schwefelsäure gefüllte Flasche passiert hatten, strömten sie durch drei Röhren angefüllt mit Glasperlen, die mit concentrirter Schwefelsäure genetzt waren (Babo'sche Trockenröhren), sodann durch zwei mit Phosphorsäureanhydrid gefüllte Röhren. Jede der fünf Trockenröhren hatte eine Länge von etwa $\frac{3}{4}$ Meter.

Wir benutzten zwei solcher Trockenapparate, den einen für Luft und H, den andern lediglich für CO_2 , da sich gezeigt hatte, daß die letzten Spuren Kohlensäure aus einem Trockenapparat, der einmal mit diesem Gas angefüllt gewesen war, nicht leicht entfernt werden konnten.

Sollte der Reibungsapparat oder die Apparate für die Untersuchung der Wärmeleitung mit einem Gas gefüllt werden, so wurde mittels der Pumpe evacuirt und dann das betreffende Gas unter *hohem Druck sehr langsam* durch

die T
so la
konn
so we

II.

Gesetz

W
um ih
spring
consta
bifilar
period
bunde
Lufts
vertica
O. E.
Ampli
suche
Ampli
Zu

1) Pog
Pogger

die Trockenröhren eingelassen. Diese Manipulation wurde so lange wiederholt, oft 40 bis 50 Mal, bis wir sicher seyn konnten, alle Spuren fremden Gases und die Feuchtigkeit, so weit es überhaupt möglich war, weggeschafft zu haben.

II. Discussion der Reibungsversuche, Berechnung der Reibungsindices.

§. 17.

Gesetz der Abnahme der Schwingungsbögen der schwingenden Scheibe.

Wenn eine Scheibe in der Luft drehende Schwingungen um ihre Axe ausführt, so ist das aus der Luftreibung entspringende logarithmische Decrement der Schwingungen constant. In unseren Versuchen sind aber vermöge der bifilaren Aufhängung mit den drehenden Schwingungen periodische Hebungen und Senkungen der Scheibe verbunden, durch welche aufer dem periodischen Gleiten der Luftschichten über einander eine Verlegung derselben in verticaler Richtung eintritt. Unter diesen Umständen fand O. E. Meyer¹⁾ das logarithmische Decrement mit der Amplitude wachsend. Bei den Bedingungen unserer Versuche ergab sich innerhalb der benutzten Gränzen der Amplituden das logarithmische Decrement constant.

Zum Belege diene folgender Versuch:

Beobachteter Ausschlag	Berechneter Ausschlag	Diff.
485,4	—	—
425,2	424,9	+ 0,3
372,4	371,9	+ 0,5
325,4	325,6	— 0,2
284,8	285,0	— 0,2
249,5	249,5	= 0,0
218,8	218,4	+ 0,4
191,9	191,1	+ 0,8
167,8	167,3	+ 0,5
146,6	146,5	+ 0,1
128,7	128,2	+ 0,5

1) Pogg. Ann. Bd. 143, S. 19.

Poggendorff's Annal. Bd. CLV.

Beobachteter Ausschlag	Berechneter Ausschlag	Diff.
112,2	112,2	$\pm 0,0$
98,4	98,2	$+ 0,2$
86,2	86,0	$+ 0,2$
75,0	75,3	$- 0,3$
65,9	65,9	$\pm 0,0$
57,6	57,7	$- 0,1$
50,1	50,5	$- 0,4$
44,3	44,2	$+ 0,1$
39,2	38,8	$+ 0,4$
34,0	33,9	$+ 0,1$
29,8	29,8	$\pm 0,0$

In der ersten Columnne stehen die an der Scala abgelesenen Ausschläge der Scheibe, gerechnet vom Nullpunkt der Scala, reducirt von Tangenten auf Bögen. Aus den ersten 10 Beobachtungen wurde nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung das logarithmische Decrement berechnet, und aus diesem sodann die in der zweiten Columnne befindlichen Zahlen. Beobachtete und berechnete Ausschläge zeigen nur Abweichungen, die kleiner sind, als ein Scalenthail, mithin Differenzen, die innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen.

Wurde aus je zwei aufeinanderfolgenden Ausschlägen das Decrement einzeln berechnet, so zeigten diese Werthe, besonders bei den kleineren Ausschlägen, nicht unbeträchtliche Abweichungen unter einander, doch zeigte sich durchaus kein Gang in den Zahlen, d. h. ein Wachsen oder Abnehmen des Decrementes mit der Gröfse der Schwingung.

Bei dem angegebenen Versuch war die Distanz der Flächen der schwingenden Scheibe von denen der festen $0^{\text{cm}}, 1967$. Die ganze Schwingungsdauer war $40^{\text{sec}}, 68$.

Die Länge jedes der Aufhängedrähte betrug, wie bei allen anderen Versuchen, 300^{mm} , die Distanz der Fäden von einander 3^{mm} . Die größte Abweichung von der Gleichgewichtslage betrug $5^{\circ} 17'$.

Daraus ergibt sich, daß die Scheibe bei ihren Schwingungen im Maximum um

$$0^{\text{mm}},00006$$

auf- und abschwankte, also nicht um $\frac{1}{10000}$ der kleinsten benutzten Distanz. Aus diesem Grunde haben wir von diesen Hebungen und Senkungen bei der Berechnung absehen zu dürfen geglaubt.

Schließlich sey noch bemerkt, daß der Fehler, welcher aus der Beobachtung der Ablesungen durch das vor dem Spiegel befindliche planparallele Glas in der Glocke (cfr. Fig. 2 *w*) entspringt, wie die Rechnung ergab, für das benutzte Glas und die beobachteten Ausschläge als verschwindend zu vernachlässigen war.

§. 18.

Nachweis, daß die störenden Widerstände zu vernachlässigen sind.

Bei der Construction unseres Reibungsapparates hatten wir, wie bereits oben gesagt wurde, das Ziel vor Augen, alle anderen dämpfenden Momente außer demjenigen, welches aus der Bewegung der Luft zwischen der schwingenden und den festen Scheiben resultirt, so klein zu machen, daß jene gegen letzteres *verschwindend* wären. Solche störenden Dämpfungen sind einerseits der Widerstand, welchen der Stiel, an dem die bewegliche Scheibe sitzt, mit seinem Spiegel in der Luft erfährt, andererseits die innere Reibung der Aufhängedrähte.

Zum Nachweis, daß diese Widerstände gegen die Luftreibung zwischen den Scheiben wirklich zu vernachlässigen seyen, wurden die feste und die bewegliche Scheibe aus dem Apparat entfernt und statt dieser unten an dem Stiel eine Zinkplatte von $31^{\text{gr}},06$ Gewicht und 37^{mm} Durchmesser angebracht.

Die Aufhängedrähte wurden dann einander soweit genähert, daß die ganze Schwingungsdauer = $39^{\text{sec}},6$, also nahe diejenige der schwingenden Scheiben bei unseren Versuchen war.

Die Beobachtung ergab nunmehr ein Decrement (in Brigg. Logarith.) von

0,00808.

Da das Trägheitsmoment der Zinkscheibe mit Stiel und Spiegel 55,9 Grm. Cent.² betrug, dasjenige der bei den meisten Versuchen benutzten Scheiben 1960 Grm. Cent.², so würde die dem Decrement 0,00808 entsprechende dämpfende Kraft bei unseren Beobachtungen ein Decrement von

0,00023 (Brigg. Log.)

bedingen.

Das kleinste bei der Untersuchung der Reibung der Gase erhaltene Decrement betrug

0,0185

(cfr. unten dritte Versuchsreihe, Wasserstoff, Versuch No. 82.)

Selbst in diesem Fall beträgt also die Dämpfung, welche aus der ganzen Aufhängung (Stiel mit Spiegel und Drähte) entspringt, nur etwas über 1 pCt. der Gasdämpfung zwischen den Scheiben.

Bei der größten Zahl unserer Versuche, welche *vielfach größere* Decremente als 0,0185 ergeben, beträgt also der Fehler, welcher aus der Vernachlässigung der störenden Dämpfung entspringt, viel weniger als 1 Proc.

Dabei ist noch zu beachten, daß das Decrement 0,00023 nicht lediglich von dem Stiel und den Drähten herrührt, sondern auch noch von der Reibung der Zinkplatte in der Luft. Dieser letztere Theil beträgt, wie die Rechnung ergibt, etwa 10 Proc. des Gesamtwertes 0,00023; um etwa 10 Proc. wäre also dieser Werth noch zu erniedrigen.

Es mag schliesslich noch erwähnt werden, daß zwei andere Versuche, bei denen statt der Zinkscheibe Messinggewichte an den Stiel befestigt waren, und bei denen das System eine Schwingungsdauer von 35^{sec.} und 54^{sec.} hatte, gleichfalls Decremente ergaben, die, reducirt auf das Träg-

heitsmoment der schwingenden Glasscheibe, weniger als 1 Proc. der größten Zahl der von uns bei unseren Versuchen mit der Scheibe beobachteten Decremente betragen.

Diese letzteren Versuche sind freilich mit unseren Beobachtungen der schwingenden Scheibe nicht streng vergleichbar, da die dämpfenden Kräfte der Luft- und inneren Metallreibung sich mit der Schwingungsdauer ändern und zwar die eine im entgegengesetzten Sinne wie die andere.

§. 19.

Theorie der Versuche nach Maxwell.

Da nun nach dem Vorhergehenden die Reibung in Folge der Bewegung der Luft zwischen den Scheiben die einzige merkliche Ursache der Dämpfung der Schwingungen ist, so haben wir nach der von Maxwell¹⁾ entwickelten Theorie des Experiments

$$M \cdot D \cdot \beta = A \mu (1 + \vartheta) \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wo M Trägheitsmoment

D Abstand der inneren Scheibenflächen von einander,
 β die beobachtete Dämpfung, (wenn man den Versuchen zu Folge die angulare Elongation ω zur Zeit t , $\omega = a e^{-\beta t} \cdot \cos n t$ setzt),

μ den Reibungsindex bezeichnet.

ϑ ist eine Reihe, deren Werth von der Dichte der Luft abhängt und welche um so mehr convergirt, je größer die Schwingungsdauer, je kleiner der Scheibenabstand, je kleiner die Dichte und je größer der Reibungscoëfficient, oder wie man kurz sagen kann: je kleiner der Abstand der Scheiben im Verhältniß zu der Länge der von der bewegten Scheibe ausgehenden Reibungswellen ist. In unseren Versuchen war die Größe ϑ experimentell unmerklich.

Wenn man die Reibung, welche die Scheibe erfährt, gleichsetzt derjenigen, welche ein ihr gleiches Stück einer unendlichen Scheibe erführe, wenn sie zwischen zwei un-

1) *Philosoph. Transactions. London 1866, p. 259 ff.*

endlichen Scheiben in dem beim Experiment benutzten Abstand schwingen würde, so wäre

$$A = \frac{1}{2} \pi R^4$$

wo R den Radius der Scheibe bedeutet; die Reibung ist aber thatsächlich größer bei der endlichen Scheibe wegen der Bewegungen am Rande.

Nach Maxwell ist mit Berücksichtigung dieses Umstandes

$$A = \frac{\pi}{2} R^4 \left(1 + \frac{4\alpha}{R} \right)$$

wo

$$\alpha = \frac{2b}{\pi} \log \text{nat. } 10 \left\{ \log_{10} 2 + \log_{10} \sin \frac{\pi(b-\beta)}{2b} \right\}.$$

Hier ist $2b$ die Distanz der einander zugewandten Flächen der festen Scheiben.

$b - \beta$ Dicke der reibenden Luftschicht.

Bei unseren Versuchen war in drei verschiedenen, so gleich folgenden Versuchsreihen

$$\frac{4\alpha}{R} \text{ bezüglich } 0,0381$$

$$0,0514$$

$$0,0715.$$

§. 20.

Beobachtungen.

Wir geben jetzt zunächst die Resultate von drei Versuchsreihen, in welchen die Reibung der drei Gase Luft, H und CO_2 bei drei verschiedenen Distanzen der schwingenden Scheibe von den festen Scheiben in Druckgrößen von 750^{mm} bis etwa $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ bestimmt wurde.

Bei jeder Versuchsreihe findet sich die Distanz D der Flächen der beweglichen von denen der festen Scheibe angegeben. Diese Distanz wurde ermittelt durch Messung der beim Einstellen der Scheiben benutzten kleinen Glasstückchen (cf. oben S. 362). Von der gemessenen Dicke dieser wurde die Dicke der Scheibe abgezogen. Die Hälfte der gefundenen Differenz ist die in den Tabellen unter D gegebene Größe.

Die Tabellen geben ferner unter p den Druck des Gases in Millimetern Hg, unter t die Temperatur in Centigr., bei welcher der betreffende Versuch ausgeführt wurde, unter λ_1 das bei der angegebenen Temperatur beobachtete Decrement in Brigg. Logarith. Dasselbe ist fast durchgehends aus 10 Ausschlägen nach der einen Seite vom Nullpunkt auf bekannte Weise berechnet. Unter λ steht dasselbe Decrement reducirt auf 15° Cels. Für diese Reduction ist das Gesetz von Maxwell, nach welchem die Reibung der absoluten Temperatur proportional wächst, angenommen. Außerdem sind die Versuche mit einer fortlaufenden Nummer versehen.

Erste Versuchsreihe.

Distanz I. $D = 0,1104$ Cm. Benutzt wurde Scheibe I.

Trägheitsmoment 1550 Grm. Cent.²

Luft.

No.	p	t	λ_1	λ
1	380 ^{mm}	18°	0,1332	0,1318
2	380	17	0,1327	0,1318
3	20	18	0,1323	0,1306
4	7,7	18	0,1308	0,1292
5	7,6	18	0,1309	0,1292
6	2,4	18	0,1272	0,1256
7	2,4	18	0,1272	0,1256
8	2,4	21,5	0,1273	0,1245
9	1,53	21,5	0,1225	0,1198
10	1,53	21,5	0,1225	0,1198
11	0,63	21,5	0,1129	0,1104
12	0,63	21,5	0,1134	0,1109

Wasserstoff.

No.	p	t	λ_1	λ
13	380	15,2	0,0651	0,0651
14	"	15,2	0,0654	0,0654
15	"	15,8	0,0652	0,0650
16	20	16,4	0,0645	0,0641
17	"	18,2	0,0642	0,0635
18	8,8	18,5	0,0637	0,0629
19	2,4	16,0	0,0602	0,0600
20	"	16,0	0,0604	0,0602
21	1,53	16,3	0,0564	0,0557
22	0,63	18,5	0,0492	0,0486

Kohlensäure.

No.	p	t	λ_1	λ
23	380 ^{mm}	18,6	0,1081	0,1068
24	380	12,8	0,1063	0,1071
25	380	16,1	0,1072	0,1068

Zweite Versuchsreihe.

Distanz II. $D_2 = 0,1967$ Cm. Benutzt wurde Scheibe II.
Trägheitsmoment 1960 Grm. Cent.²

Luft.

No.	p	t	λ_1	λ
26	750 ^{mm}	18,8	0,0587	0,0579
27	750	18,8	0,0588	0,0581
28	380	18,5	0,0593	0,0586
29	380	18,5	0,0593	0,0586
30	380	14,8	0,0582	0,0582
31	20,5	17,3	0,0586	0,0582
32	20,5	17,0	0,0586	0,0582
33	2,4	16,6	0,0571	0,0566
34	2,4	16,6	0,0569	0,0568
35	1,53	16,4	0,0559	0,0556
36	1,53	16,4	0,0557	0,0554
37	1,53	13,6	0,0550	0,0553
38	0,63	16,9	0,0531	0,0528
39	0,63	17,5	0,0530	0,0525

Wasserstoff.

No.	p	t	λ_1	λ
40	750	18,8	0,0287	0,0283
41	"	18,8	0,0288	0,0284
42	"	19,1	0,0286	0,0282
43	380	22,5	0,0288	0,0285
44	"	22,5	0,0289	0,0282
45	"	18,6	0,0290	0,0283
46	"	19,0	0,0286	0,0282
47	"	16,3	0,0283	0,0281
48	20	22,4	0,0287	0,0280
49	20	21,8	0,0288	0,0282

Kohlensäure.

No.	p	t	λ_1	λ
50	750 ^{mm}	20°	0,0477	0,0468
51	"	16,6	0,0471	0,0469
52	380	20	0,0478	0,0470
53	"	20	0,0477	0,0469
54	20,5	17	0,0471	0,0468
55	"	17,6	0,0469	0,0465
56	2,4	18,5	0,0466	0,0461
57	"	18,9	0,0467	0,0461
58	1,54	19,1	0,0459	0,0453
59	"	19,1	0,0459	0,0453
60	0,65	19,7	0,0441	0,0434
61	"	19,7	0,0442	0,0435

Dritte Versuchsreihe.

Distanz III. $D_0 = 0,2802$. Benutzt wurde Scheibe II.Trägheitsmoment 1960 Grm. Cent.²

Luft.

No.	p	t	λ_1	λ
62	750 ^{mm}	14,6	0,0424	0,0425
63	"	15,6	0,0425	0,0424
64	380	15	0,0428	0,0428
65	"	15,6	0,0424	0,0423
66	"	16,5	0,0426	0,0424
67	20,5	14,6	0,0423	0,0424
68	7,3	17,0	0,0422	0,0419
69	2,4	17,5	0,0417	0,0413
70	1,53	17,7	0,0409	0,0405
71	0,63	18	0,0398	0,0394
72	"	14,6	0,0393	0,0394

Wasserstoff.

No.	p	t	λ_1	λ
73	750 ^{mm}	19	0,02083	0,02055
74	"	13,6	0,02056	0,02066
75	380	19,2	0,02077	0,02047
76	"	15	0,02050	0,02050
77	20,5	13,6	0,02026	0,02036
78	8,8	13,6	0,02031	0,02041
79	7,5	18,4	0,02067	0,02043
80	2,4	15,6	0,01996	0,01992
81	"	15,8	0,02011	0,02005
82	0,65	18	0,01872	0,01853

Kohlensäure.

No.	p	t	λ_1	λ
83	750	18,5	0,03461	0,03420
84	380	14,8	0,03387	0,03389
85	"	19,3	0,03445	0,03395
86	8,8	15,8	0,03392	0,03383
87	2,4	17,3	0,03386	0,03359
88	1,48	19	0,03352	0,03306
89	0,60	19,8	0,03268	0,03215

§. 21.

Berechnung des Reibungsindex der Luft.

Die Tabellen zeigen zunächst, daß das logarithmische Decrement innerhalb 750^{mm} und etwa 20^{mm} Quecksilberdruck für jedes Gas in jeder Versuchsreihe bis auf weniger als 1 Proc. des Werthes constant bleibt.

Da indessen besonders bei der ersten Reihe in den Versuchen bei etwa 20^{mm} Druck schon eine kleine Abnahme des Decrementes deutlich ist, so sollen zur Berechnung der absoluten Reibungscoefficienten der Luft nur die Versuche bei 750^{mm} und 380^{mm} benutzt werden. Wir nehmen zu dem Ende aus jeder der Tabellen das Mittel der auf 15° reducirten Decremente für 750^{mm} und 380^{mm} Druck.

Die folgende Tabelle enthält die für die Berechnung des Coefficienten der Luft nach Maxwell's Formel (cf. oben S. 533) nöthigen Data und die Resultate.

λ ist Mittel der Decremente, M Trägheitsmoment, T Schwingungsdauer, R Radius, α die oben S. 534 definirte Gröfse, μ Reibungsindex. Einheiten sind Gramm, Centimeter, Secunde.

1. Versuchsreihe.	2. Versuchsreihe.	3. Versuchsreihe.
$D = 0,1104$	$D = 0,1967$	$D = 0,2802$
$\lambda = 0,1318$	$\lambda = 0,05828$	$\lambda = 0,04248$
$M = 1550$	$M = 1960$	$M = 1960$
$T = 40'',25$	$T = 42'',28$	$T = 42,20$

1. Versuchsreihe.	2. Versuchsreihe.	3. Versuchsreihe.
$R = 8,0$	$R = 7,95$	$R = 7,95$
$\alpha = 0,07622$	$\alpha = 0,1022$	$\alpha = 0,1422$
$\frac{4\alpha}{R} = 0,0381$	$\frac{4\alpha}{R} = 0,5014$	$\frac{4\alpha}{R} = 0,0715$
$\mu = 0,000193$	$\mu = 0,000186$	$\mu = 0,000189$

Als Mittel aus diesen drei Bestimmungen ergibt sich der Reibungscoëfficient der trockenen Luft bei 15°

$$\mu = 0,000189 \quad \frac{\text{Gramm}}{\text{Centimeter Secunde}}$$

Maxwell¹⁾ findet bei 15° Cels. 0,000198, Meyer²⁾ fand nach Maxwell's Methode durch seine letzten Versuche mit Messingscheiben bei 15° 0,000182, Puluj³⁾ findet aus Transpirationsbeobachtungen bei 15° 0,000185.

§. 22.

Reibungscoëfficienten des Wasserstoffs und der Kohlensäure.

Für die Berechnung der absoluten Reibungsindices des H und der CO₂ sind dieselben Werthe von D, M, T, R, α wie bei der Luft anzuwenden. Nimmt man wie für diese bei jeder der drei Versuchsreihen das Mittel der Decremente bei 750 und 380^{mm} Druck, so erhält man

Wasserstoff.

1. Versuchsreihe.	2. Versuchsreihe.	3. Versuchsreihe.
$\lambda = 0,6517$	$\lambda = 0,028275$	$\lambda = 0,020545$
$\mu = 0,0000953$	$\mu = 0,0000900$	$\mu = 0,0000916$

Im Mittel für H

$$\mu = 0,0000923 \quad \frac{\text{Gramm.}}{\text{Cent. Sec.}}$$

1) *Phil. Trans.* 1866.

2) *Pogg. Ann.* Bd. 148, S. 226.

3) *Sitzungsberichte d. Wiener Akad.* Bd. LXIX, S. 287 ff.

Kohlensäure.

1. Versuchsreihe.	2. Versuchsreihe.	3. Versuchsreihe.
$\lambda = 0,1069$	$\lambda = 0,0469$	$\lambda = 0,0341$
$\mu = 0,000156$	$\mu = 0,000149$	$\mu = 0,000152$
Im Mittel für CO_2		
$\mu = 0,000152$		
$\frac{\text{Gramm.}}{\text{Cent. Sec.}}$		

Setzt man den Reibungsindex der Luft $= 1$
 so ist derjenige des Wasserstoffs . . . $= 0,488$
 der Kohlensäure $= 0,806$.

Graham fand aus Transpirationsbeobachtungen für Wasserstoff den relativen Reibungscoefficienten 0,486, für Kohlensäure 0,807.

Die Resultate unserer Schwingungsbeobachtungen sind also in völliger Uebereinstimmung mit den Graham'schen Transpirationsbeobachtungen, und sind die Abweichungen der Zahlen Maxwell's¹⁾ für H und CO_2 , wie er selbst sagt, auf nicht völlige Reinheit der benutzten Gase zu schieben.

§. 23.

Reibungscoefficient des Wasserdampfes.

Schon Maxwell und Meyer haben constatirt, daß die feuchte Luft einen etwas kleineren Reibungsindex habe, als die trockene. Da bei unsern Versuchen mit *sehr verdünnten* Gasen der Wasserdampf, welcher durch Trocknen und Auspumpen nicht völlig wegzuschaffen ist, eine nicht unwesentliche Rolle spielt, und die Kenntniß des Reibungscoefficienten des reinen Wasserdampfes uns wünschenswerth erschien, haben wir bei der Distanz der zweiten Versuchsreihe das logarithmische Decrement bestimmt, wenn sich nur Wasserdampf in dem Apparat befand. Es war zu diesem Zweck an die Glasleitung, welche von dem Reibungsapparat zu der evacuirenden Pumpe führte, seitlich ein durch einen Glashahn absperrbares Kölbchen angeschmolzen, welches durch einen zweiten Hahn mit

1) *Phil. Transact.* 1866.

ausgekochtem, völlig luftfreien Wasser gefüllt werden konnte.

Nachdem dieses Kölbchen von der Leitung abgesperret und mit Wasser völlig gefüllt war, wurde der Reibungsapparat möglichst gut ausgepumpt, und dann der Hahn zu dem Kölbchen geöffnet, so daß das Wasser in den Apparat hinein verdampfte. Es wurde dafür gesorgt, daß dieses Wasser eine etwas niedrigere Temperatur hatte, als der Reibungsapparat und die ganze Umgebung, so daß in ersterem der Wasserdampf sich nicht condensiren konnte. Die Resultate sind in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt. p giebt den Druck des Wasserdampfes in Mm. Quecksilber, t Temperatur, λ_1 das beobachtete, λ das auf 15° reducirte Decrement. Alle andern Constanten zur Berechnung des Reibungsindex sind dieselben wie in der zweiten oben mitgetheilten Versuchsreihe (S. 536).

Man sieht, daß der Reibungscoefficient des Wasserdampfes nur wenig größer als der des Wasserstoffs ist.

Reibungscoefficient.

Wasserdampf.

t	p	λ_1	λ
21,5	15,9	0,03136	0,0307
21,6	17,5	0,03113	0,0305
18,8	15,0	0,03099	0,0307

Mittel 0,03063

$$\mu = 0,0000975.$$

Relativer Reibungscoefficient: Luft = 1.

Wasserdampf = 0,5256.

III. Die Gleitung der Gase an festen Wänden.

§. 24.

Prüfung der theoretischen Entwicklungen der §§. 5 bis 8 durch die Versuche.

Wir gehen nunmehr über zur Discussion der Versuche, welche wir bei Drucken unter 20^{mm} angestellt haben;

(cf. die drei Versuchsreihen S. 535 bis 538). Nach Gleichung (1) des §. 19 haben wir

$$MD\beta = A\mu(1 + \beta).$$

Aus der Ableitung dieser Formel und den Entwicklungen der §§. 5 bis 8 des theoretischen Theils geht hervor, daß man genauer zu setzen hat statt D ,

$$D + 2\nu.$$

Nehmen wir nun an, wir änderten die Dichte des Gases, während alles Uebrige constant bleibt, so ändert sich nur ν . βT ist das logarithmische Decrement, wenn T die Schwingungsdauer. Bezeichnen wir daher durch ν_0 das logarithmische Decrement für eine so große Dichte des Gases, daß $\frac{2\nu}{D}$ einen experimentell zu vernachlässigenden Werth hat, so muß seyn

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1}{1 + \frac{2\nu}{D}}.$$

Da weiter, wie früher gezeigt wurde, ν proportional der mittleren Weglänge und diese der Dichte oder, soweit das Mariotte'sche Gesetz gültig ist, dem Drucke p umgekehrt proportional ist, so können wir schreiben

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 + \frac{a}{p}} = \frac{\lambda_0}{1 + \delta},$$

wo δ

- 1) umgekehrt proportional dem Druck,
- 2) umgekehrt proportional der Dicke D der reibenden Gasschicht,
- 3) für verschiedene Gase *caet. par.* proportional deren mittleren Weglänge.

Wir wollen jetzt die Resultate an den oben S. 535 bis 538 gegebenen Versuchsreihen prüfen; diese wurden leider durch Beschädigung des Apparates mehrfach unterbrochen und daher rühren die Lücken, welche sie zeigen.

Wir stellen zunächst in folgender Tabelle aus den obigen drei Versuchsreihen diejenigen Beobachtungen zusammen, die bei Drucken von 20^{mm} und darunter angestellt

sind. Es sind in die Tabelle gleich die auf 15° Cels. reducirten Decremente aufgenommen, und da wo mehrere Versuche in den drei Reihen S. 535 bis 538 für einen und denselben Druck stehen, ist das Mittel genommen.

L u f t.

$d_1 = 0^{\text{cm}}, 1104$		$d_2 = 0^{\text{cm}}, 1967$		$d_3 = 0^{\text{cm}}, 2802$	
p	λ	p	λ	p	λ
20	0,1306	20,5	0,0582	20,5	0,0424
7,6	0,1292	—	—	7,3	0,0419
2,4	0,1252	2,4	0,0567	2,4	0,0413
*1,53	0,1198	1,53	0,0554	1,53	0,0405
*0,63	0,1107	0,63	0,0527	0,63	0,0394

W a s s e r s t o f f.

20	0,0638	20	0,0281	20,5	0,0204
8,8	0,0629	—	—	8,8	0,0204
2,4	0,0601	—	—	7,5	0,0204
*1,53	0,0557	—	—	2,4	0,0200
*0,63	0,0486	—	—	0,65	0,0185

K o h l e n s ä u r e.

—	—	20,5	0,0467	8,8	0,0338
—	—	2,4	0,0461	2,4	0,0336
—	—	1,54	0,0453	1,48	0,0331
—	—	0,65	0,0435	0,60	0,0322

Von den in vorstehender Tabelle enthaltenen Beobachtungen sind die mit * bezeichneten von der Berechnung ausgeschlossen worden, da für sie

$$\frac{D}{l} < 14 \text{ ist (cf. §. 8).}$$

Ferner ist die Beobachtungsreihe für H bei der Distanz $d_3 = 0,2802$ nicht wohl geeignet zur Discussion, da hier gerade die wichtigste Beobachtung, bei etwa 1,5^{mm} fehlt.

Dabei haben wir noch speciell zu erwähnen, daß bei den zu discutirenden Versuchen der Einfluß des sich von den Wänden allmählich ablösenden Wasserdampfes, von dem im nächsten Abschnitt ausführlicher gehandelt wird, noch nicht merklich hervortrat.

Um erstens zu prüfen, ob δ dem Druck umgekehrt proportional sey, haben wir aus jeder Reihe einen Mittelwerth von a berechnet und mit diesem rückwärts die Decremente. Wir finden, wenn wir die so berechneten Werthe von λ mit den beobachteten zusammenstellen:

Atmosphärische Luft.

1)	$D_1 = 0,1104$	
	$\lambda_0 = 0,132$	
	$a_1 = 0,149$	
	p	λ beobacht. λ berechn.
	20 ^{mm}	0,131 0,131
	7,6	0,129 0,129
	2,4	0,125 0,124
	1,53	0,120 0,120.

2)	$D_2 = 0,1967$	
	$\lambda_0 = 0,0583$	
	$a_2 = 0,0700$	
	p	λ beobacht. λ berechn.
	2,4	0,0567 0,0566
	1,53	0,0554 0,0557
	0,63	0,0527 0,0525.

3)	$D_3 = 0,2802$	
	$\lambda_0 = 0,0425$	
	$a_3 = 0,0612$	
	p	λ beobacht. λ berechn.
	7,3	0,0419 0,0422
	2,4	0,0413 0,0415
	1,53	0,0405 0,0409
	0,63	0,0394 0,0387.

Wasserstoff.

$$D_1 = 0,1104$$

$$\lambda_0 = 0,0653$$

$$a_1 = 0,0256$$

Fern
umg
Luft

Endl
mittl
Pog

p	λ beobacht.	λ berechn.
20	0,0638	0,0645
8,8	0,0629	0,0635
2,4	0,0601	0,0590.

Kohlensäure.

$$D_2 = 0,1967$$

$$\lambda_0 = 0,0469$$

$$a_2 = 0,0505$$

p	λ beobacht.	λ berechn.
20,5	0,0467	0,0468
2,4	0,0461	0,0459
1,54	0,0453	0,0454
0,65	0,0435	0,0435

$$D_3 = 0,2802$$

$$\lambda_0 = 0,0340$$

$$a_3 = 0,0351$$

p	λ beobacht.	λ berechn.
8,8	0,0338	0,0339
2,4	0,0336	0,0335
1,48	0,0331	0,0332
0,60	0,0322	0,0321.

Ferner soll die Größe a unter sonst gleichen Umständen umgekehrt proportional mit D seyn. Berechnen wir für Luft a_1 und a_3 aus a_2 , für CO_2 a_2 aus a_3 , so finden wir:

Luft.

a_1	a_2 aus den Beobacht.	a_2 aus a_1 berechn.
0,149	0,070	0,084.
a_3 aus den Beobacht.	a_3 aus a_1 berechn.	
0,061	0,059.	

Kohlensäure.

a_2	a_3 aus den Beobacht.	a_3 aus a_2 berechn.
0,051	0,035	0,036.

Endlich soll a für verschiedene Gase proportional der mittleren Weglänge derselben bei gleichem Druck seyn.

Es verhalten sich nach Stefan¹⁾ die mittleren Weglängen der Luft, der Kohlensäure und des Wasserstoffs wie 83 : 56 : 153.

Berechnen wir a_2 und a_3 für Kohlensäure und a_1 für Wasserstoff diesem Gesetz gemäß aus den entsprechenden Werthen für Luft, so finden wir:

Kohlensäure.

a_2 aus den Beobacht.	a_2 berechnet aus a_2 Luft.
0,051	0,047
a_3 aus den Beobacht.	a_3 berechnet aus a_3 Luft.
0,035	0,041.

Wasserstoff.

a_1 aus den Beobacht.	a_1 berechnet aus a_1 Luft.
0,256	0,275.

Die Berechnung der Gröfse a ist eine sehr unsichere, da sie nur mittelst eines kleinen Theils der ganzen beobachteten Gröfse ausgeführt wird. Man kann sich aber leicht überzeugen, daß die Abweichungen in den berechneten und beobachteten Werthen von a nur Abweichungen von nicht viel mehr als 1 Proc. in den Werthen der wirklich beobachteten Gröfsen λ voraussetzen. Obgleich daher die Differenzen zwischen der Theorie und den Versuchen sich innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler halten, so lassen sich doch die Gesetze, welchen die Gröfsen δ und a unterliegen sollen, nicht entscheidend durch Versuche dieser Art prüfen, und man wird für eine solche Prüfung vielleicht noch zu Versuchen anderer Art schreiten müssen.

Besonders wichtig für die Theorie der Gleitung ist das Gesetz, nach welchem die Gröfse a von der Dicke der reibenden Luftschicht abhängt, und dies Gesetz wird wenigstens ziemlich genähert durch die vorliegenden Versuche erwiesen.

Nimmt man die von uns entwickelte Theorie der Gleitung an und hält sie durch die mitgetheilten Versuche für

1) Sitzungsberichte d. Wiener Akademie Bd. LXV, II. Abth., S. 332.

hinreichend bestätigt, so ist durch diese Versuche zugleich die Unabhängigkeit des Reibungscoëfficienten der Gase vom Drucke bewiesen in den Gränzen 750^{mm} bis 1^{mm} Quecksilberdruck.

Der absolute Werth des Gleitungscoëfficienten der Luft unter Atmosphärendruck bei 15 bis 20° Cels. ergibt sich sodann aus unsern Versuchen in runder Zahl zu $\frac{1}{10000}$.

Danach wäre der Proportionalitätsfactor in Gleich. 4^a §. 7 für die untersuchten Substanzen in runder Zahl = 2.

IV. Die Reibung sehr verdünnter Gase.

§. 25.

Als wir nun weiter daran gehen wollten, die Gesetze der Gasreibung zu untersuchen bei Graden der Verdünnung, für welche $l > \frac{1}{14} D$ (cf. §. 9 bis 10), gelang es uns selbst bei dem sorgfältigsten Trocknen nicht, den Wasserdampf, welcher bei den anzuwendenden kleinen Drucken die Resultate entstellte, hinreichend aus dem Apparat zu entfernen. Seine Anwesenheit zeigte sich dadurch, daß das dämpfende Moment für ein Vacuum — so nennen wir einen Raum erfüllt von einem Gas von einigen Hunderteln Millimeter Druck mit Beimengungen von Dämpfen — erheblich stieg, wenn der Apparat, von dessen dichtem Abschluß gegen die äußere Atmosphäre wir uns völlig sicher überzeugen konnten, sich selbst überlassen wurde.

Es rührt dies zweifellos wenigstens zum Theil her von Wasser, welches an den festen Wänden des Apparates condensirt ist, und welches allmählich in das Vacuum hinein verdampft.

So sehr wir uns bemühten, haben wir die letzten Spuren Wasser nicht fortschaffen können, und mithin konnte eine quantitative Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung nicht erreicht werden.

Wir haben uns daher darauf beschränkt, zu untersuchen, wie weit man mittels der Quecksilberpumpe die Gasreibung in unserm Apparat herabdrücken konnte. In den

Versuchen, die zu diesem Zweck angestellt wurden, ist die Dicke der Luftschicht, in welcher die Reibung stattfand, nicht genau ermittelt; sie betrug beiläufig 1^{mm} (Abstand der gegenüberstehenden Flächen der beweglichen und der festen Scheiben). In den folgenden Tabellen ist λ das logarithmische Decrement in Brigg. Logarith. Die ganze Schwingungsdauer betrug $35''$. Das Trägheitsmoment wurde hier nicht genau bestimmt, es hatte ungefähr denselben Werth, wie in den vorher mitgetheilten Versuchsreihen.

p ist der Druck in Mm. Quecksilber.

Atmosphärische Luft.

	p	λ
19. Juni 1874.	750	0,0800
	1 ^{tes} Vacuum	0,0531
	2 ^{tes} „	0,0462
	3 ^{tes} „	0,0416
	4 ^{tes} „	0,0374
	5 ^{tes} „	0,0353
	6 ^{tes} „	0,0326
20. Juni, Morgens. Der Apparat hatte abgeschlossen die Nacht über gestanden		0,0380.

Eine genauere Berechnung des Druckes bei diesen Versuchen scheint uns illusorisch. Wir begnügen uns damit, anzuführen, daß bei der als 1^{tes} Vacuum bezeichneten Verdünnung in der Pumpe unter dem Hahn H_3 nach dem Heraufwinden des Hg noch ein kleines Luftbläschen zu erkennen war. Die Schätzung der Größe dieser Luftblase ergab mit Berücksichtigung des Voluminhalts des Recipienten, daß die Dichte der Luft beim Vacuum I nicht $\frac{1}{20000}$ der normalen (Barometerdruck) betragen konnte. Der entsprechende Druck beträgt $0^{\text{mm}},04$, wenn das Mariotte'sche Gesetz anwendbar ist. Die folgenden Vacua wurden durch Benutzung des Hahnes H_4 der Pumpe erzielt, und zwischen je zwei Beobachtungen des Decrementes etwa 4 bis 6 Evacuierungen des Recipienten vorgenommen.

Die Gasreibung ist schliesslich reducirt auf weniger als $\frac{1}{2}$ des vollen Werthes. Der Einfluss des sich loslösenden Wasserdampfes zeigt sich in der vorstehenden Versuchsreihe dadurch, dass das Decrement λ , nachdem der Apparat 12 Stunden sich selbst überlassen war, im Verhältniss von 33 : 38 gestiegen ist. Dass dies nicht auf einer mangelhaften Dichte des Apparates beruhte, ergab sich u. A. daraus, dass es nicht möglich war, direct durch Benutzung der Pumpe den früheren Werth von λ oder einen kleineren zu erhalten; dies gelang immer nur durch wiederholtes Füllen mit trockener Luft und darauf folgendes Auspumpen, durch welches Verfahren der Wasserdampf entfernt wird.

Eine ähnliche Beobachtungsreihe ist die folgende:

Atmosphärische Luft.

	p	λ
20. Juni 1874	750 ^{mm}	0,0800
	1 ^{tes} Vacuum	0,0461
	2 ^{tes} "	0,0351
	3 ^{tes} "	0,0321
	4 ^{tes} "	0,0301
21. Juni Morgens		0,0357
22. Juni Morgens		0,0407.

NB. Der Apparat hatte vom 20. bis 22. Juni unverändert gestanden.

Das dämpfende Moment der Gasreibung ist schliesslich reducirt auf $\frac{3}{8}$ des vollen für Luft geltenden Werthes. Durch Wasserdampf, welcher mit der Zeit in das Vacuum verdampfte, ist es in 36 Stunden im Verhältniss von 3 : 4 gestiegen.

Mit genau demselben Apparat wurden die folgenden Versuche angestellt:

Wasserstoff.

p	λ
750 ^{mm}	0,0387
1 ^{tes} Vacuum	0,0216
2 ^{tes} (10 weitere Evacuierungen)	0,0175
3 ^{tes} (12 desgl.)	0,0169
4 ^{tes} (4 desgl.)	0,0181.

Durch die vier letzten Evacuirungen wurde so wenig Wasserstoff herausgeschafft, daß der Einfluß des während des Auspumpens sich loslösenden Wasserdampfes überwog.

Wasserstoff.

Zweite Versuchsreihe.

	<i>p</i>	<i>λ</i>
30. Juni 1874.	750	0,0387
	1 ^{tes} Vacuum . . .	0,0180
	2 ^{tes} „	0,0140
	3 ^{tes} „	0,0119
	4 ^{tes} „	0,0121
1. Juli		0,0220.

Es ist im 3^{ten} Vacuum Reduction des dämpfenden Momentes auf weniger als $\frac{1}{3}$ des für vollen Wasserstoffdruck erhaltenen Werthes gefunden. Dies ist das kleinste dämpfende Moment, welches wir mit dem für diese Versuche benutzten Apparat bei einer Dicke der reibenden Gas-schicht von etwa 1^{mm} erhalten haben. Wir glauben auch hier annehmen zu können, daß die Quantität des bei diesem besten Vacuum noch vorhandenen Wasserstoffs sehr klein war gegen die Quantität des Wasserdampfes, des jedenfalls vorhandenen Quecksilberdampfes und der vielleicht aus dem Fett sich entwickelnden Gase. Daß die Reibung in dem besten Wasserstoffvacuum sich kleiner ergab, als in dem besten Luftvacuum, dürfte zum Theil darauf beruhen, daß man durch wiederholtes Füllen und Evacuiren eines Raumes mit trockenem Wasserstoff diesen Raum trockener erhält, als wenn man mit Luft operirt.

Die Versuche dieses letzten Abschnittes dürften schon darum ein gewisses Interesse haben, weil sie zeigen, wie verhältnißmäßig große Quanta von Bewegungsgröße durch Spuren gasiger Materie in der Zeiteinheit transportirt werden können.

Straßburg, April 1875.

(Zweiter Theil folgt in Heft X.)

III. *Fluoreszenzverhältnisse gewisser Kohlenwasserstoffverbindungen in den Steinkohlen- und Petroleumdestillaten:*

von Henry Morton Ph. Dr.,

Präsident des *Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey.*

Unter den Producten der Steinkohlendestillation, in dem Theer der Gaswerke, und besonders unter den durch nochmalige Destillation in Verbindung mit Anthracen erhaltenen Stoffen, finden sich, neben den Körpern mit hohem Schmelzpunkte wie Pyren und Chrysen, auch noch andere farbige Substanzen mit stark markirter Fluorescenz.

Der erste dieser Körper, welcher hier betrachtet werden soll, hat von Fritsche den Namen *Chrysogen* erhalten. Das Spectrum desselben wurde von Becquerel ¹⁾ abgebildet, von Hagenbach ²⁾ vollständiger studirt, und weiter untersucht mit Bezugnahme auf Auflösungsmittel usw. von dem Schreiber der vorliegenden Mittheilung ³⁾.

Seit der Veröffentlichung der letztgenannten Untersuchung, habe ich gewissen anderen fluorescirenden Körpern, welche mit den obigen eng verwandt sind, ein eingehendes Studium gewidmet und beabsichtige ich im Folgenden eine ausführliche Beschreibung der von mir erhaltenen Resultate vorzulegen.

Außer dem in Verbindung mit Anthracen gefundenen Chrysogen, untersuchte ich gewisse dem Pyren sowie dem Chrysen beigeeselte fluorescirende Körper, sowie ferner ein neues in der entsprechenden Petroleumdestillation von mir entdecktes Material, dem ich den Namen Thallen gegeben habe.

1) *La Lumière Tome I, p. 182.*

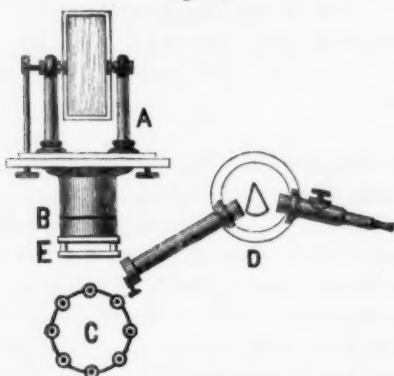
2) *Pogg. Ann. 1872, Bd. 146, S. 386.*

3) *Pogg. Ann. 1873, Bd. 148, S. 292.*

Untersuchungs-Methode.

Um das Spectrum des fluorescirenden Lichts zu studiren, gebrauchte ich folgende Vorrichtung. Das *porte-lumière A*

Figur 1.



wurde am Boden eines nach Süden gehenden Fensters angebracht, so daß es die Sonnenstrahlen horizontal in das Zimmer warf, concentrirt von einer Linse mit zwölfzölliger Brennweite in *B*. Bei *C* war ein in Fig. 2 vollständiger abgebildeter Apparat. Derselbe bestand aus einem runden an einer senkrechten Stange auf- und abschiebbaren Tischchen. An dessen Rand befanden sich, in gleichen Entfernungen, acht kleine Zellen zur Aufnahme von Probefläschchen. Die Drehung des Tischchens wurde mittelst einer Feder so regulirt, daß das zweite Fläschchen genau an die Stelle des ersten trat, und daß man mit der größten Leichtigkeit acht verschiedene Substanzen schnell vergleichen konnte. Diese Vorrichtung wurde so gestellt, daß das Sonnenbild auf das der Linse *B* zunächst befindliche Fläschchen fiel. Ein flaches Glasgefäß, enthaltend eine starke Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak (zuweilen auch eine Platte von violettem Glase) wurde zwischen *B* und *C* gestellt. Das in diesen Beobachtungen gebrauchte Spectroskop *D* war gewöhnlich eins von Browning mit einfachem Prisma von starker

Figur 2.



Dispersion, ungefähr 5° zwischen *C* und *G* des Sonnenspectrums, oder ein Spectroskop mit zwei ähnlichen Prismen aus derselben Fabrik; oder auch zuweilen eins von Desaga mit geringerer Zerstreuung. Auch benutzte ich häufig ein kleines Spectroskop mit gerader Durchsicht, um schwache Linien oder Streifen in den Absorptionsspectra zu erkennen.

Um Absorptionsspectra zu untersuchen, blieben die beschriebenen Vorkehrungen dieselben, außer daß das Spectroskop so gedreht wurde, daß es die Stellung in Fig. 3 einnahm, und das der drehbare Tisch durch einen einfachen *D* ersetzt wurde, worauf ich die zu studirenden Körper in Gläsern oder Flaschen stellte. Flaschen von weißem Glase, welche ungefähr eine Unze enthalten, lassen sich als cylinderische Linsen bequem zu diesem Zwecke gebrauchen.

Zum Studium der Fluorescenz erregenden Kraft der verschiedenen Farben des Spectrums, gebrauchte ich eine

Figur 3.



Vorrichtung ähnlich derjenigen, welche Prof. Stokes als seine dritte Methode beschreibt. Das Licht von dem *porte-lumière* ging durch eine schmale regulirbare Oeffnung, fiel auf ein Prisma und dann auf eine Linse mit 12 Zoll Brennweite, welche das Bild des Spectroskop auf einen Schirm oder ein flaches Glasgefäß warf. Ein hinter diesem Schirm stehendes Spectroskop wurde in einer später zu beschreibenden Weise benutzt, um die Brechbarkeit gewisser Strahlen zu messen.

Wenn z. B. ein reines Fraunhofer'sche Linien deutlich angegebendes Spectrum auf einen mit einem fluorescirenden Körper bestrichenen Schirm geworfen wird, und man beabsichtigt die Brechbarkeit der Strahlen genau zu bestimmen, welche gewisse Maxima und Minima von Fluorescenz bewirken, so braucht man nur mittelst einer feinen Nadel ein Loch an einem zu beobachteten Punkte in das Papier des Schirms zu stechen und das hindurchdringende Licht mit dem Spectroskop zu messen. Natürlich ist es nicht nothwendig mehr als ein Loch zu machen, denn man kann dasselbe durch Verschiebung des Schirms an irgend einen beliebigen Punkt bringen. Mit Auflösungen in flachen Glasgefäßen, verfuhr ich auf dieselbe Weise, indem ich ein mit einem feinen Nadelloch versehenes Stück Karte benutzte, um das durchscheinende Licht in verschiedenen Positionen zu untersuchen und zu messen.

Pyren und Chrysen.

Um die Fluorescenz der letzten Producte der Steinkohlentheerdestillation mit der des von mir früher studirten *Chrysogen* zu vergleichen, wendete ich mich an Hrn. J. H. C. Cheever, Superintendent der Werke der Herren Page, Kidder und Fletscher zu Bulls Ferry, und waren diese Herren so gütig die nöthigen Versuche anstellen zu lassen, um mich mit einer ausreichenden Quantität des Rohstoffs zu versorgen. Um diesen Herren die ihnen gebührende Anerkennung zu zollen, darf ich hier nicht verschweigen, daß sie die Versuche fortsetzten, trotz-

dem dafs im Laufe derselben mehrere Explosionen stattfanden, und dafs eine ihrer Destillirblasen durch Schmelzen des Bodens völlig unbrauchbar wurde.

Die Substanzen, welche ich suchte, waren Chrysen und Pyren, die von HH. Gräbe und Liebermann isolirt, studirt und in den Annalen d. Chemie und Pharmacie 1871, Bd. 81, S. 285, 315 beschrieben wurden. Der Beschreibung nach war das von ihnen verarbeitete Rohmaterial ein aus der Destillation von Steinkohlen (bis zu einem Rückstande von Coaks) gewonnener fester Körper von gelber Farbe, krystallinischem Bruch und in der Form von grossen Platten mit grünlicher Fluorescenz. Durch Behandlung desselben mit kaltem Schwefelkohlenstoff erhielten sie ein schwefelgelbes Pulver, bestehend grösstentheils aus Chrysen, und eine Auflösung von Pyren.

Das oben beschriebene von Hrn. Cheever erhaltene Material war so gänzlich von diesem verschieden, dafs ich nicht den Muth gehabt hätte die Ausscheidung der neuen Körper zu untersuchen, wenn ich nicht durch die Bereitungsart auf den Schlufs gebracht worden wäre, das Product müsse Pyren und Chrysen enthalten. Dasselbe war ein ziegelrothes äufserst klebriges Pulver. Es zerfloß durch Druck, Wärme oder Auflösungsmittel und ward zu einem dicken Theer, *facile princeps* unter allen klebrigen Substanzen. Nachdem es einmal in ein Gefäfs gerathen war, blieb es hartnäckig an den Wänden hängen, bis es durch Auflösungsmittel vertrieben wurde.

Durch wiederholte Behandlung dieses Körpers mit Schwefelkohlenstoff blieb nach dem Filtriren nicht etwa ein gelbes Pulver, sondern immer noch klebrige Masse. Diese wurde in einer Flasche so lange mit immer neuen Zusätzen von heifsem Benzol so lange behandelt, bis nur noch ein schwarzer aus Kohlenstoff und Eisenoxyd bestehender Rückstand zurückblieb.

Die Benzol-Auflösung wurde heifs filtrirt und setzte beim Erkalten ein schmutzig gelbes Pulver ab. Nach zweimaliger Krystallisirung aus heifsem Benzol-Auflösung

gen, erhielt ich endlich ein helles citronengelbes Pulver, bestehend aus kleinen krystallinischen Blättchen, wie das von Gräbe und Liebermann beschriebene Chrysen.

Die Trennung des Pyren aus der Schwefelstoff-Auflösung war aber eine viel schwierigere Arbeit, deren Erfolg der unermüdlichen Ausdauer und der Geschicklichkeit des Hrn. W. E. Geyer zuzuschreiben ist, welcher mit der Verfertigung beider Körper betraut war.

Ein Theil der Auflösung wurde in eine Flasche gebracht, und der Schwefelkohlenstoff, soweit wie thunlich, auf einem Wasserbade abdestillirt. Der letzte Theil jedoch konnte nur durch langes Aussetzen in einer flachen Schale entfernt werden. Dies mußte in einem Nebengebäude geschehen, da der combinirte Geruch des Schwefelkohlenstoffs und des Theers unausstehlich war.

Ein Theil des so erhaltenen halbflüssigen Theers wurde in eine Flasche von 1 Liter gebracht, letztere mit 95 Proc. Alkohol angefüllt, und das Ganze einige Stunden lang über einem Wasserbade in einer Temperatur von ungefähr 170° R. erhalten. Die alkoholische Auflösung wurde dann abgegossen, destillirt zur Wiedergewinnung des Alkohols, und das ganze Verfahren mit dem Rückstand in der Flasche mehrmals wiederholt. Nach dem zweiten Male setzte die Auflösung beim Abkühlen eine schmutzig grüne krystallinische Substanz ab, welche abfiltrirt wurde. Nach wiederholter Krystallisirung aus heißem Alkohol erhielten wir ein gelbbraunes Pulver, welches mit dem Pyren der HH. Gräbe und Liebermann übereinstimmte.

Ein Theil des theerigen Rückstandes, wovon der Alkohol destillirt worden war, wurde mit Pikrinsäure behandelt und wir erhielten auf diese Weise ein wenig pikrinsaures Pyren; eine Menge von Theer lief erst nach langer Zeit ab und das Product wurde schließlichs durch Krystallisirung aus Alkohol gereinigt.

Das pikrinsaure Pyren krystallisirt sehr leicht in langen dunkelrothen Nadeln, welche sich durch ihre Größe und die Schnelligkeit ihrer Absetzung aus einer abkühlenden

Auf
Am
bind
F
des
des
D
gelbe
Thal
einer
vier
trenn
derse
Chry
Thall
Fluor
dem
G
nicht
angeh
Anth
es ge
zum
oder
stellen
H
Farbe
tisch,
wandt
zu be
die v
und M
Da
der in
kleiner

Auflösung auszeichnen. Die Krystalle werden leicht durch Ammoniak zersetzt, welches mit der Pikrinsäure sich verbindet und das Pyren ausscheidet.

Betrachten wir zunächst die optischen Eigenschaften des früher untersuchten Chrysen und danach diejenigen des Pyren.

Fluorescenzspectrum des Chrysen.

Die Fluorescenz des festen Chrysen, d. h. des reinen gelben, ist sehr stark und derjenigen des Chrysogen und Thallen sehr ähnlich. Die Farbe ist feurig, gelbgrün mit einem Spectrum, wie die der genannten Körper; nämlich vier in einander verschmelzende, breite, helle Streifen, getrennt durch weniger helle Zwischenräume. Die Lage derselben ist jedoch weiter oben im Spectrum wie im Chrysogen und Thallen, und der oben blaue Streifen des Thallen ist gänzlich abwesend. Dies erklärt, warum das Fluorescenzlicht des Chrysen gelbgrün im Vergleich mit dem des Thallen ist.

Gräbe hat gefunden, daß die gelbe Farbe des Chrysen nicht jenem Körper, sondern einer beigesellten Unreinheit, angehört. Die letztere konnte er zwar nicht, wie beim Anthracen, durch Solarisiren der Auflösung reinigen; aber es gelang ihm mittelst gewisser chemischen Verfahren, wie zum Beispiel durch die Einwirkung von ein wenig Chrom- oder Salpetersäure, vollkommen weißes Chrysen herzustellen.

Hier warf sich natürlich die Frage auf, ob dieser Farbstoff nicht mit dem in Anthracen gefundenen identisch, also Chrysogen, sey; und wenn nicht, welche Verwandtschaft zwischen den beiden existire. Um diese Frage zu beantworten, wiederholte ich, mit dem gelben Chrysen, die verschieden mit Chrysogen gemachten Beobachtungen und Messungen, und verglich die Ergebnisse.

Das in Anthracen gefundene Chrysogen sowohl, als der in Chrysen vorhandene Farbstoff, waren in viel zu kleinen Quantitäten und viel zu schwer auszuscheiden, als

dafs man sie auf diese Weise hätte direct auf chemische Weise studiren können.

Beim Vergleich der Fluorescenzspectra des Chrysen und des im unreinen Anthracen gefundenen Chrysogen, fanden sich in beiden ähnliche helle in einander vergehende Streifen, welche nicht durch dunkle, sondern durch weniger helle Zwischenräume von einander geschieden waren. Diese Streifen, es waren ihrer vier, waren blaugrün smaragdgrün, orangenfarbig und roth, und die beiden letzten waren nur schwach von einander abgeschieden. Der einzige Unterschied scheint zu seyn, dafs beim Chrysen die Streifen ein wenig weiter gegen das violette Ende des Spectrums zu lagen als die beim Chrysogen. Folgende Messungen erklären dies genauer:

	1.	2.	3.	4.
Chrysogen in Anthracen	41,3	52,4	68,5	82,3
Chrysen (klares, gelbes)	41,7	55,0	70,5	85,5.

Obgleich diese Verschiebung, oder besser gesagt, dieser Unterschied der Lage, klein ist, so ist er dennoch deutlich und unverkennbar; hierbei muß noch in Betracht kommen, dafs verschiedene Proben von Anthracen aus verschiedenen Theilen der Welt keinen solchen Unterschied der Spectra anzeigen, nachdem sie alle von den größeren Unreinigkeiten befreit worden waren. Man scheint also zu dem Schluß berechtigt zu seyn, dafs der Unterschied der Fluorescenz einem specifischen Unterschied in den Farbestoffen zuzuschreiben sey.

Zunächst wurden die Wirkungen von Lösungsmitteln auf die Fluorescenz des Chrysen studirt und verglichen.

Es fand sich, dafs, ebenso wie bei Chrysen und Thallen, Flüssigkeiten, welche selbst nur kleine Mengen auflösen, eine starke Fluorescenz erhielten. Mit dem Spectroskope untersucht, zeigte dieses Licht ein gestreiftes Spectrum und die Streifen wurden, je nach der Natur des Lösungsmittels, mehr oder weniger nach dem oberen Ende des Spectrums verschoben. Folgende Tabelle zeigt einige dieser Resultate an.

Spectra des von Chrysenauflösungen gegebenen Fluorescenzlichtes.

Helle Streifen	1.	2.	3.	4.	5.
Festes Chrysen	41 : 7	55,0	70,5	85,5	
Chrysen in Chloroform	45,6?	56,4	72,4	92,0	112,9
„ „ Benzol	46,4?	60,3	75,8	92,0	113,7
„ „ Terpentin	47,2	62,8	78,4	95,9	116,4
„ „ Aether	50,3	64,6	78,1	97,1	116?

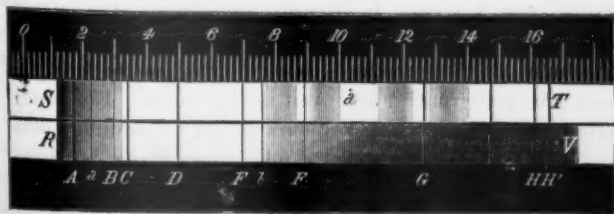
Hierbei ist zu bemerken, daß in allen den Auflösungen ein oberer breiter Streifen (No 5) beobachtet wurde, der sich bei dem festen Körper, selbst nicht unter bedeutend verstärkter Erleuchtung, zeigte.

Beim Vergleich der obigen Messungen mit den vor einiger Zeit mit den entsprechenden Auflösungen von unreinem Anthracen angestellten, findet sich eine große Ähnlichkeit, nicht bloß in der allgemeinen Wirkung der verschiedenen Lösungsmittel, sondern auch in der Lage der verschiedenen Linien; ohne directen Vergleich wäre es jedoch nicht rathsam, mehr als ganz allgemeine Schlüsse zu ziehen, da die Streifen matt und weniger scharf begrenzt sind, als bei den Spectra fester Körper der Fall ist.

Maxima und Minima der Fluorescenz.

Wenn ein reines Spectrum auf einen mit festem Chrysen bestrichenen Schirm fällt, so nimmt man an gewissen Stellen, gerade wie bei Chrysogen und Thallen, *Maxima* der Fluorescenz wahr; man sehe zum besseren Verständniß Figur 4.

Figur 4.



Man werfe ein Sonnenspectrum etwa einen Zoll breit und sieben Zoll lang auf einen Papierschirm, so daß man die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien deutlich unterscheiden kann. Sodann ersetze man den Papierschirm durch einen andern, auf dem der Raum *ST* mit Chrysen bestrichen ist, und man hat den in der Figur 4 abgebildeten Effect. *RV* ist das gewöhnliche Sonnenspectrum, welches sich von dem kräftigen Gelbroth *D* bis zu dem beinahe unsichtbaren Violett *V* langsam abstuft; während in dem oberen Theil *ST*, wo dasselbe Licht auf Chrysen fällt, das obere Ende des Spectrums fast ebenso kräftig ist als das untere. Dieses obere Ende ist von grünlicher Farbe und an demselben sieht man deutlich die Fraunhofer'schen Linien. Besonders helle Stellen sieht man bei *T* oder zwischen 8 und 10 der Scale, bei *a* oder zwischen 10 und 10,5, und bei *G* oder zwischen 12 und 12,5. Bei 13 beginnt eine Strecke von noch lebhafterer grüner Farbe, deren Länge von dem Vermögen des Prismas abhängt, ultraviolette oder aktinische Strahlen durchzulassen.

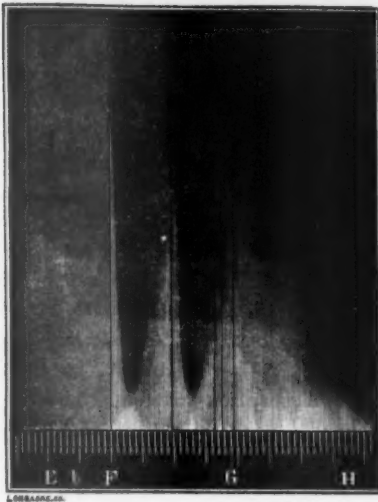
Wenn man auf *RV* einen mit Anthracen bestrichenen Papierstreifen bringt, so werden, wenn das Anthracen viel Chrysogen erhält, die *Maxima* der Erleuchtung denjenigen des Chrysen, was Position anbetrifft, entsprechen; es sind jedoch beim Chrysogen die Zwischenräume zwischen den *Maximis* bedeutend dunkler. Sonst ist bei den beiden Substanzen der Effect der nämliche, und bei beiden entsprechen die *Maxima* den Absorptionsstreifen, welche weiter unten beschrieben sind.

Läßt man dasselbe reine Spectrum auf die eine Seite eines flachen, rechtwinkligen, mit einer concentrirten Auflösung von Chrysen in Benzol angefüllten Glasgefäßes fallen, so erhält man den in Figur 5 abgebildeten Effect.

Unterhalb *F* erstreckt sich eine breite matte Erleuchtung von gelbgrüner Farbe weit in das Gefäß. Ein wenig weiter oben (d. h. weiter rechts in der Abbildung; oben weil weiter gegen das violette oder obere Ende des Spectrums zu) ist ein brillant grüner Theil, dem gegenüber

ein
gege
sorp
cenz
I
Chlo
I
welc
ders
regen
D
lösun
schne
schne
gerad
wenig
schöp
cenzli
Pogg

Figur 5.



ein dunkler Streifen vom andern Ende des Gefäßes entgegen zu kommen scheint, während der, welcher die Absorption darstellt, helle Theil dem *Maximum* der Fluorescenz entspricht.

Die verschiedenen Effecte, wie schon Stokes mit einer Chlorophyllauflösung nachwies, sind wie folgt.

Lichtschwingungen von der besonderen Wellenlänge, welche diesen Theil des Spectrums angehören, sind besonders wirksam um in dieser Auflösung Fluorescenz zu erregen.

Dieselben wirken daher bei ihrem Eintritt in die Auflösung stark auf dieselbe ein, weil sich aber ihre Energie schnell in diese neue Form verwandelt, muß dieselbe auch schnell vergehen oder absorbiert werden. Daher vermögen gerade die Strahlen, welche am wirksamsten sind, am wenigstens in die Auflösung einzudringen, denn sie erschöpfen ihre Kraft in der Hervorbringung des Fluorescenzlichtes.

Die Strahlen zu beiden Seiten, obschon eben so stark, haben nicht im selben Grade das Vermögen ihre Energie in Fluorescenz zu verwandeln, und dringen deswegen weiter in die Auflösung ein, ehe sich ihre Kraft erschöpft.

Neben der hellen Stelle bei *F*, ist eine andere, hellgrüne, unterhalb *G*, mit dem entsprechenden Absorptionsstreifen, während oberhalb *G* eine andere helle Strecke anfängt und sich bis an die Gränze des Spectrums erstreckt, ohne sich jedoch weit über die Fläche, wo die Strahlen einfallen, zu erheben. Die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien sind in diesem Versuch leicht zu erkennen, wie es auch die Abbildung anzeigt.

Wenn man eine Chrysogen enthaltende Anthracenauflösung auf dieselbe Weise behandelt, so findet man die Maxima und die Absorptionsstreifen schärfer begränzt als in der Chrysenauflösung. Verdünnt man die Auflösung, so werden die Maxima der Fluorescenz weniger intensiv und erstrecken sich weiter in die Flüssigkeit, indem sie die Absorptionsstreifen zurückdrängen und deswegen eine ganz andere Erscheinung darbieten, obgleich sich die enge Verwandtschaft der beiden Effecte bei sorgfältigem Vergleich erweist.

Bei noch weiterer Verdünnung verlieren sich entweder die Absorptionsstreifen oder dieselben werden so zu sagen, über die entgegengesetzte Seite des Gefäßes hinausgetrieben; außerdem verlieren sie die scharfe Abgränzung und vergehen mehr ineinander. Fig. 5, sowie Figuren 9 und 10 (weiter unten beim Thallen), erklären diese Erscheinungen, obgleich dieselben eine andere Substanz, Thallen, vorstellen. Wenn auch in den beiden Körpern die Farben und die Natur der Streifen äußerst verschieden sind, so ist doch die Lage derselben, sowie auch das Resultat, in beiden Fällen genau gleich. In Figur 9 sieht man die Wirkung einer schwächeren Auflösung, wo die einfallenden Strahlen weiter hineinreichen und die Absorptionsstreifen zurückdrängen. Figur 10 zeigt eine noch schwächere Auflösung.

N
niger
wie
dabei
obere
Versc
schei
Auflö
man
dünnt
nichts
ein w

W
Chrys
kung
Meth
erwie
Einwi
senau
Brenn
setzte
dern,
beschr
der h
Nach
per a
chem
escenz
konnte
beoba

Gelbe
Chrys

Nimmt man eine Flüssigkeit, worin die Substanz weniger löslich ist, so erhält man ungefähr denselben Effect, wie bei einer verdünnten Auflösung und man bemerkt dabei obendrein eine Verschiebung der Maxima nach dem oberen Theile des Spectrums, oder auch das gänzliche Verschwinden einiger derselben. Man vergleiche die Erscheinung der Thallenauflösung im Benzol, Fig. 9, mit der Auflösung desselben Körpers im Aether, Fig. 10. Wollte man nun letzteres Bild so verändern, daß es eine verdünnte Auflösung in Benzol darstellte, so brauchte man nichts weiter zu thun als einige der Streifen und Maxima ein wenig abwärts zu rücken.

Solarisirung.

Wie bereits bemerkt, konnte Liebermann die dem Chrysen anhängende gelbe Farbe nicht durch die Einwirkung des Sonnenlichtes entfernen; obgleich sich diese Methode bei der Reinigung des Anthracen sehr wirksam erwiesen hatte. Durch bedeutende Verstärkung dieser Einwirkung, indem wir nämlich eine siedend heiße Chrysenauflösung in Benzol mehr als 30 Minuten lang dem Brennpunkt einer Linse von 14 Zoll Durchmesser aussetzten, gelang es uns den Körper vollständig zu verändern, welchem das Chrysen seine gelbe Farbe und oben beschriebene Fluorescenz verdankt. Ungefähr 2 Unzen der heißen Flüssigkeit wurden auf einmal ausgesetzt. Nach 10 Minuten setzte dieselbe einen rahmfarbigem Körper ab, dessen Fluorescenz im Vergleich mit gewöhnlichem gelben Chrysen sehr schwach, und dessen Fluorescenzspectrum matt und schlecht definirt war. Dennoch konnte man eine Verschiebung der Streifen nach oben beobachten, wie man aus der folgenden Tabelle ersieht:

Helle Streifen	1.	2.	3.	4.	5.
Gelbes Chrysen	41,7	55	70,5	85,5	
Chrysen 10' lang solarisirt	42,7	56,9	73,5	91,0	108,8.
				36 *	

Ein fünfter Streifen kam bei dem solarisirten Körper zum Vorschein, welcher im gelben Chrysen nicht zu sehen ist.

Diese Veränderungen sind den beim Thallen bemerkten ähnlich; doch habe ich nichts dergleichen gefunden, wenn man chrysogenhaltiges Anthracen auf die gleiche Weise behandelt. Bei diesem Körper wird die Fluorescenz des farbigen Bestandtheils einfach durch die Einwirkung des Sonnenlichtes auf die heiße Auflösung zerstört, ohne daß erst eine Verschiebung stattfindet.

Diese Verschiebung der Streifen durch Aussetzung der Auflösung an das Sonnenlicht, sowie ebenfalls durch bloße Auflösung in gewissen Flüssigkeiten, deutet auf eine enge Verwandtschaft der Auflösung und der chemischen Einwirkung hin, wie dies bereits bei dem Verhalten der Uran-Doppelsalze unter ähnlichen Bedingungen bemerkt worden ist.

Absorptionsstreifen.

Wenn man ein wenig gelbes Chrysen mit geschmolzenem Paraffin vermenget und die Mischung dann mittelst zweier Glasplatten oder auf andere Weise zu einem dünnen Blatte preßt, welches das Licht hindurchläßt, so beobachtet man an dem durchfallenden Lichtstreifen gewisse Absorptionsstreifen, die mit den unter gleichen Verhältnissen mit unreinem Anthracen erhaltenen viel Aehnlichkeit haben.

Die allgemeine Absorption der oberen Strahlen ist jedoch verhältnißmäßig beträchtlicher, und es sind daher diese Streifen schwerer zu erkennen und zu messen. Die verschiedenen Auflösungen derselben Substanz haben indessen sehr deutliche Streifen, deren Lage in folgender Tabelle angegeben ist.

Absorptionsstreifen des Chrysen.

Streifen	1.	2.	3.
Festes Chrysen	89,7	105,3	126,7?
Benzol - Auflösung	96,3	117	
Chloroform - Auflösung	95,9	116,4	
Aether - Auflösung	99,5	121,1	152,8?
Terpentin - Auflösung	97,5	119,6	

Diese Streifen gleichen denjenigen des Anthracen und des Thallen im Allgemeinen, sowie in den Verschiebungen durch Wechsel des Lösungsmittels; doch scheinen sie, ebenso wie die Fluorescenzstreifen, weiter oben im Spectrum zu liegen. Die Streifen des festen Körpers machen, wie es scheint, hiervon eine Ausnahme, indem sich kaum ein merkbarer Unterschied zwischen denen des Anthracen und denen des Chrysen zeigt.

Schließlich bemerken wir, daß wir der Ansicht sind, daß die Substanz, welcher das Chrysen seine Farbe verdankt, nicht mit derjenigen, welche dem gewöhnlichen Anthracen seine Färbung verleiht, und welche von Fritsche als Chrysogen beschrieben wurde, identisch, sondern ein neuer, obschon nah verwandter Körper ist.

Thallen.

Gegen Ende Decembers 1872 legte mir Prof. E. N. Horsford eine kleine Probe eines Petroleumdestillats vor, aus welchem es mir gelang einen krystallisirenden, festen, und stark grün fluorescirenden Körper herzustellen; es gelang mir ferner dessen optische d. h. Fluorescenz- und Absorptions-Beziehungen zu dem käuflichen Anthracen, sowie den Unterschied in den Schmelzpunkten und in der Löslichkeit der beiden Körper nachzuweisen. Die Quantität des Materials, worüber ich zu verfügen hatte, war indessen zu klein (im Ganzen nur einige Gran, gewonnen aus weniger als einer Unze des Rohstoffes), um damit mehr als eine vorläufige Untersuchung anzustellen.

Es kostete einige Mühe auszufinden, wo der Rohstoff

zu bekommen war, bis ich endlich von Prof. G. H. Barker dem Hrn. Johann Truax von Pittsburg vorgestellt wurde, welcher mir mit der größten Bereitwilligkeit zu Allem was ich brauchte verhalf. Durch die Güte meines Freundes Prof. S. P. Langley vom Allegheny Observatorium erhielt ich auch später aus anderen Fabriken eine bedeutende Menge Rohmaterial. Dasselbe wird erhalten wie folgt:

Wenn man die bei der Fabrication von Brennölen erhaltenen Rückstände der Petroleumdestillation nochmals destillirt zur Bereitung von Paraffin und Schmierölen, erhält man, gegen das Ende der Operation, wenn der Boden der Destillirblase beinahe oder selbst ganz rothglühend ist, ein dickes, harziges Destillat von dunkler Honig- oder heller Sepiafarbe, welches in Walzwerken als Schmiermittel gebraucht wird. Um den neuen Körper daraus zu bekommen, verfährt man auf folgende Weise:

Man vermischt den oben erhaltenen theerartigen Stoff mit dem gleichen Volumen Benzin (Petroleum-Naphtha), bringt die Mischung auf ein starkes Filter und wäscht den Rückstand mit demselben Auflösungsmittel aus. Auf diese Weise erhält man schliesslich ein dunkel olivengrünes, flockiges Pulver, welches etwa drei Procent der Originalmasse beträgt und dem käuflichen rohen Anthracen sehr ähnlich ist. Man wäscht es sodann mit Alkohol und digerirt es wenn nöthig; so erhält man einen braunen Stoff, dessen alkoholische Auflösung stark fluorescirt. Zunächst löst man ihn in heissem Benzol (Kohlentheer-Naphtha) auf und filtrirt in einem mit Tuch umgebenen Trichter, wodurch ein schwarzes Pulver abgeschieden wird. Beim Abkühlen der Auflösung erhält man sehr kleine nadelförmige Krystalle, welche man reinigt, indem man sie mehrmals in neuem Benzol auflöst und wiederum krystallisirt.

Folgende Tabelle zeigt die Löslichkeit des Körpers an.

In
jedo
Oliv
in I

Sub
auf
nen
erbi

gell
zwe
mat
wen
viol
in C
auf

den
Ant

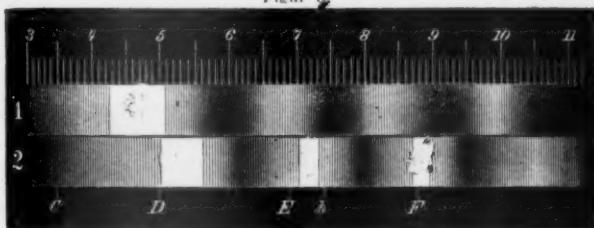
Benzin	heiß, 160° S.	löst 1 Theil in	1155
"	kalt, 70° S.	" " "	2900
Alkohol	heiß, 160° S.	" " "	4172
"	kalt, 70° S.	" " "	16,725
Benzol	heiß, 160° S.	" " "	95
"	kalt, 70° S.	" " "	152.

In Terpentin löst sich derselbe ziemlich leicht, leichter jedoch in Schwefelkohlenstoff und Chloroform; in Aether, Olivenöl und Chlorkohlenstoff ist er kaum so löslich wie in Benzin.

Spectrum des Fluorescenzlichts vom festen Thallen.

Untersucht man ein wenig der oben beschriebenen Substanz, welche ich der Kürze wegen, mit Hinweisung auf die lebhaft grüne Farbe ihrer Fluorescenz, Thallen nennen werde, auf die in Figur 1 abgebildete Weise, so erhält man ein Spectrum wie in Figur 6.

Figur 6.



Zuerst sieht man eine sehr breite helle Stelle im Rothgelben und Gelben; dann zwei weniger helle Streifen, zwei grüne Stellen und zuletzt eine blaue, bedeutend matter als die anderen. Man sieht letztere am besten, wenn man außer der blauen Auflösung auch noch ein violettes Glas benutzt. Die Eintheilung im obigen und in den folgenden Abbildungen von Spectris beziehen sich auf die von Bunsen eingeführte Millimeter-Scale.

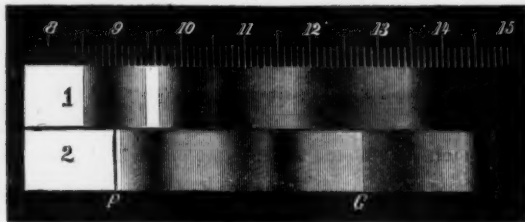
Dieses Spectrum unterscheidet sich, wie man sieht, von demjenigen des unreinen Anthracen oder des im käuflichen Anthracen enthaltenen Chrysen, auf zwei Weisen. Er-

stens, ist in dem Thallenspectrum keine scharfe Trennung der rothgelben und gelben von den rothen Strahlen durch einen dunklen Streifen, wie dies bei den andern der Fall ist; und zweitens, enthält das Thallenspectrum einen stark erhellten Streifen im Blauen, wo man in dem andern Spectrum, unter eben denselben Umständen, keinen erkennen kann.

Absorptionsspectrum des festen Thallen.

Bei einer Temperatur von ungefähr 460° F. schmilzt das Thallen ohne sich zu zersetzen. Man kann diesen Umstand benutzen um ein durchscheiniges Blatt dieses Körpers zwischen zwei Glas- oder Glimmerplatten zu bekommen, womit man dann die Absorption auf die oben beschriebene Weise studiren kann. Man löst auch das Thallen in geschmolzenen Paraffin und streicht es auf Filtrirpapier, oder vermengt es mit Firniß und streicht es dann auf Papier. Untersucht man dann das durchgehende Licht wie in Figur 3, so erhält man das in Figur 7 abgebildete Absorptionsspectrum.

Figur 7.



Hier sieht man einen sehr starken schmalen Streifen, dessen Mittellinie *F* ist; zunächst einen weniger scharf begränzten Doppelstreifen bei 10 und 11 in der Scale; dann einen noch weniger scharf begränzten von 12 bis 13, verbunden durch einen Schatten mit dem Punkt 14, wo die Absorption total wird. Der Hauptunterschied zwischen diesem und dem Absorptionsspectrum des käuflichen Anthracen besteht darin, daß der zweite Streifen doppelt

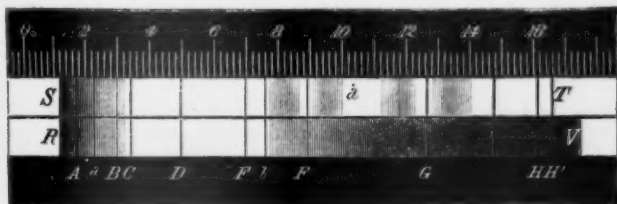
ist und der dritte bedeutend weiter unten liegt. Derselbe endigt oben wo derjenige des Anthracen anfängt.

Schreiten wir nun zu der in Figur 3 angegebenen Beobachtungsmethode.

Der Schirm, auf den das reine Sonnenspectrum fiel, wurde auf nachfolgende Art präparirt.

Ein Stück Filtrirpapier wurde mit reinem Thallen bestrichen, indem man das Pulver darauf mit dem Finger zerrieb. Dasselbe haftet gut auf dem Papier und man erhält so eine sehr schöne regelmässige Fläche. Nun klebt man einen Streifen dieses zugerichteten Papiers auf ein Stück weisse Karte, welches sich waagerecht in einem mit einer grossen Oeffnung versehenen Gestell hin- und herschieben läßt. Das Spectrum wird so regulirt, daß es sowohl auf den fluorescirenden Streifen, wie auf die anstoßende Karte fällt. Man hat dann die in Figur 8 abgebildete Erscheinung, wo *ST* den auf das mit Thallen bestrichene Papier und *RV* den auf die Karte fallenden Theil des Spectrums darstellt. Das Spectrum auf der

Figur 8.



Karte geht natürlich von Roth bis Violett, wird aber schon unterhalb der Gränzlinie *G* sehr matt und hört zwischen *G* und *H* ganz auf. Wo diese höheren Strahlen aber auf Thallen fallen, leuchten sie, statt schwächer zu werden, mit prächtigem Glanze, und um 14 bemerkt man einen glänzenden grünen Grund auf dem die Linien *HH* und andere mit großer Deutlichkeit hervortreten. Noch weiter unten ist die Farbe bläulich weiß bis ein wenig un-

terhalb F , wo die Fluorescenz aufhört, und das Spectrum auf dem Thallensstreifen und der Karte gleich ist.

Die Erleuchtung des Thallenspectrum's ist indessen nicht gleichmäÙig zwischen 8 und 14, sondern besteht aus abgestuften *Maximis* und *Minimis*, wie man aus Fig. 8 ersieht.

Um die Lagen der Maxima zu messen, verfährt man auf folgende einfache Art. Man macht an irgend einem geeigneten Punkte, wie a Fig. 8, ein Nadelloch in das fluorescirende Papier und schiebt dasselbe auf den abzumessenden Theil des Spectrum's. In der Figur ist dies die Mitte des breiten Maximum's. Sodann stellt man das Spectroskop hinter E und mißt die Brechbarkeit der durch das Nadelloch fallenden Strahlen.

Durch einen Vergleich der Figuren 8 und 7 (1) wird es klar, daß die *Maxima* der Fig. 8 den Absorptionsstreifen der Fig. 7 (1) genau entsprechen; doch muß man nicht vergessen, daß 7 doppelt so groß wie 8 ist, ob schon die Zahlen der beiden Scalen dieselben sind.

Das deutet darauf hin, daß die Absorption hier mit der Fluorescenz der Substanz eng verbunden ist; und hierin bestärken uns die nächst zu beschreibenden Erscheinungen. Daß eine solche Verwandtschaft bestehe, ist sehr natürlich, da diejenigen Strahlen, welche Fluorescenz, d. h. Schwingungen von verminderter Geschwindigkeit, hervorbringen, verloren gehen müssen; aber es folgt daraus nicht, daß alle absorbirten Strahlen Fluorescenz entwickeln. Wie bei den Uransalzen, darf man erwarten, Absorptionsstreifen zu finden, welche in keinem unmittelbaren Verhältniß zur Fluorescenz stehen; jedesmal aber bemerkt man eine besondere Absorption, welche der der Maxima der Fluorescenz entspricht. Dies wurde schon gleich anfangs von Stokes beobachtet. Hier kommt besonders in Betracht, daß das Thallen keine merkliche Absorption zeigt, die es nicht der Fluorescenz verdankt; oder mit anderen Worten, daß beinahe alle davon absor-

birth
sch

den
eine
etw
kun
ich
ter

Flu
zu
glän
Deu
Sub
zur
zu e

Flüs
star
cirt

I
trosl
des
jedoc
trum
Farb

I
No.
stell
Strei
Körp
10,7

N
tel,

birten Strahlen in Fluorescenz- und nicht in Wärmeschwingungen verwandelt werden.

Bis jetzt habe ich nur von den bis H' sich erstreckenden Strahlen bei der Wirkung eines reinen Spectrums auf einen Thallenschirm gesprochen; doch muß man nicht etwa glauben, daß dies die äußerste Gränze jener Wirkung sey. Mittelst Linsen und Prismen von Quarz, habe ich auf einem solchen Schirm Sonnenspectra mit viel weiter hinaufreichenden deutlichen Linien erhalten.

Die von den Strahlen um und oberhalb H' erzeugte Fluorescenz scheint keine Abwechselungen in Lichtstärke zu haben, sondern leuchtet mit einem eintönigen aber glänzendem grünen Lichte, worauf die Linien mit großer Deutlichkeit hervortreten; und wirklich scheint sich diese Substanz, weit besser als irgend eine bis jetzt entdeckte, zur Untersuchung der violetten und ultravioletten Strahlen zu eignen.

Thallenauflösungen.

Wie schon bemerkt, ist Thallen in einer Anzahl von Flüssigkeiten löslich, und ertheilt denselben jedesmal eine starke, blaue Fluorescenz; oder richtiger gesagt, es fluorescirt stark blau in der Auflösung.

Untersucht man das fluorescirende Licht mit dem Spectroskop, so theilt sich dasselbe, eben so wie das grüne des festen Körpers, in Streifen; mit dem Unterschiede jedoch, daß sie weiter nach dem oberen Ende des Spectrums zu liegen; woher denn auch die Veränderung der Farbe des Lichts von Grün in Blau.

Diese Veränderung sieht man, wenn man in Fig. 6, No. 2, welches das Spectrum der Benzolauflösung darstellt, mit No. 1 vergleicht. Die deutlichsten drei hellen Streifen 6,8, 8,4 und 9,8 in dem Spectrum des festen Körpers sind in dem der Auflösung nach 7,1, 8,9 und 10,7 verschoben.

Nimmt man statt Benzol, Chloroform als Lösungsmittel, so nehmen die Streifen ziemlich dieselben Lagen an;

mit Schwefeläther aber findet eine beträchtlichere Verschiebung statt. Mit Terpentin ist die Verschiebung etwas kleiner als mit Aether; mit Olivenöl liegen die Streifen in der Mitte zwischen denen der beiden letztgenannten Flüssigkeiten, und mit Schwefelkohlenstoff ist die Verschiebung am geringsten. Folgendes sind die Messungen der Lagen der verschiedenen Streifen.

Schwefelkohlenstoff	6,80	8,76	10,00
Benzol und Chloroform	7,16	8,85	10,78
Olivenöl	7,29	8,96	10,92
Terpentin	7,29	8,98	10,81
Aether	7,38	9,04.	

Beobachtet man nun, auf die bei Fig. 3 angegebene Methode, die Absorption dieser Auflösungen, so findet man, daß die Streifen, gerade wie die der Fluorescenz, weiter oben liegen, als dies bei dem Absorptionsspectrum des festen Körpers der Fall ist. Man vergleiche das Absorptionsspectrum des in Benzol aufgelösten Thallen, Figur 7 (2) mit dem Absorptionsspectrum des festen Thallen (Fig. 7 (1)).

Die Absorptionsstreifen in den Auflösungen in Benzol, Chloroform und Olivenöl zeigen keinen bemerkenswerthen Unterschied; in Aether aber sind dieselben weiter oben. In Terpentin ist der untere Streifen besonders so schwach, daß derselbe mittelst der gewöhnlichen Methode nicht zu erkennen war, selbst nicht, wenn man eine Pinte-Flasche der Auflösung gebrauchte. Als man aber eine Dubosq-Sacharimeterröhre damit anfüllte, konnte man ihn mit einem kleinen directen Spectroskop erkennen.

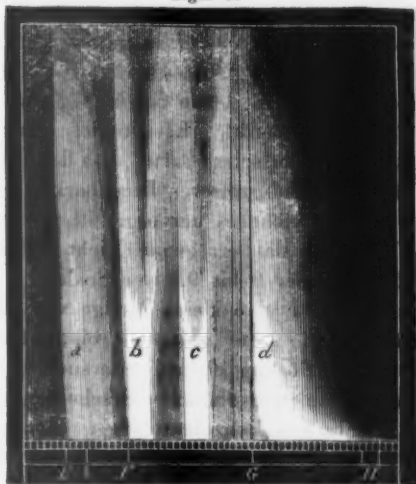
Mit der Schwefelkohlenstoff-Auflösung fand ich dieselbe Schwierigkeit, so daß ich in einer früheren Mittheilung bemerkte, die Streifen wären abwesend. Weitere Versuche haben mir jedoch die Gewißheit gegeben, daß die Streifen vorhanden sind, und zwar weiter unten im Spectrum als bei den anderen bisher untersuchten Auflösungen. Der unterste ist sogar unterhalb des dem festen Thallen entsprechenden. Auch findet in dieser Auflösung

eine allgemeine Absorption aller um F befindlichen Strahlen statt, weswegen es besonders schwierig ist, die Streifen zu messen.

Hagenbach beobachtete eine ähnliche Streifenverschiebung durch verschiedene Lösungsmittel bei Ruß, Phtalinsäureamid, Chlorophyll, Purpurin usw. (Pogg. Ann. 1872, Bd. 140, S. 533), und ich habe dasselbe bei einer Anzahl von Uransalzen gefunden. In solchen Fällen ist die folgende Untersuchungsmethode besonders zweckmässig.

Wenn man auf die Seite eines mit Benzolauflösung angefüllten flachen Glas- oder Quarzgefäßes ein reines Spectrum wirft, so erblickt man, da man mittelst der Einrichtung des Prismas oben hineinsieht, lange die Auflösung durchlaufende Lichtstreifen, wie in Figur 9. Die-

Figur 9.



selben sind von verschiedenen Farben; a ist ein sehr schwaches Olivengrün, b ist sehr hell und von lebhaftem Grün, c ist glänzend himmelblau, und d ist indigfarbig, welches gegen H zu mit dem Violett verschmilzt. Das Ganze ist eine Erscheinung von ungewöhnlicher Schönheit. Die

Farben sind prächtig und verschmelzen zart in einander. Die hellsten Streifen *b* und *c* sind von einer aus der andern Seite des Gefäßes kommenden, langen, dunklen Zunge gespalten, welche unzweifelhaft von der Absorptionskraft der Flüssigkeit herrührt, welche die Wirkung der entsprechenden Strahlen schnell erschöpft, während die weniger kräftigen zu beiden Seiten tiefer eindringen, ehe ihre Bewegung sich in Fluorescenz verwandelt. Bei *H*, wo Absorption und Fluorescenz am stärksten wirken, dringt das Licht kaum weiter als in die Oberfläche der Flüssigkeit ein.

Analoge Erscheinungen wurden von Stokes beim Chlorophyll beobachtet (*Philos. Trans.* 1842, II, p. 489). Ich habe alle von ihm angegebenen Substanzen untersucht, doch hat mir keine so prächtige Resultate gegeben wie obige Auflösung.

Beobachtet man das Licht dieser Streifen mit einem Handspectroskope, so ergiebt es sich, daß der glänzend grüne *b* nicht das obere blaue Stück 10,7 hat, welches man bei *c* und *d* bemerkt. Es ist dies eine natürliche Folge aus dem Stokes'schen Satze, daß das Fluorescenzlicht nie Strahlen von größerer Brechbarkeit enthält als diejenigen, durch welche es hervorgerufen wird. Im vorliegenden Falle war das erregende Licht für *b* nur ein wenig oberhalb *F* oder 9 bis 9,5 der Scale.

Terpentin löst nur eine kleine Menge von Thallen auf und empfängt davon eine glänzend blaue Fluorescenz. Wenn man die Auflösung ebenso untersucht wie die vorige, so findet man eine ähnliche Erscheinung, wie bei einer gleich schwachen Benzolauflösung. Der erste Streifen oberhalb *F* z. B., ist eine Strecke davon, der zweite Streifen ist deutlich doppelt mit dem oberen Theil desselben von matterer Farbe, und der Streifen oberhalb *G* ist ebenfalls unverkennbar getheilt. Siehe Figur 10.

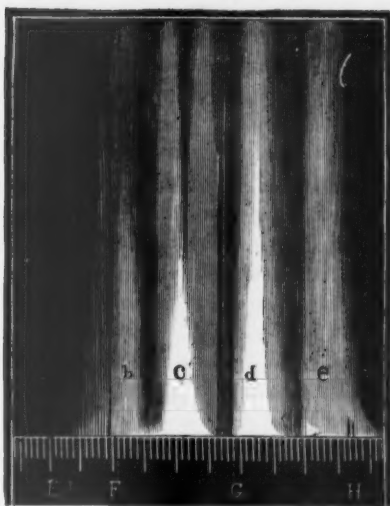
Man sieht weder in dieser noch in einer schwachen Benzolauflösung dunkle Absorptionsstreifen. Eine Auflösung von Thallen in Schwefelkohlenstoff, deren Absorp-

tion
im
eig
gär
get
nä
glä
Flu
get

auc
ter

Wi
käu
die
ver
lan
ebe

Figur 10.



tionsstreifen, wie wir oben gesehen haben, sehr weit unten im Spectrum liegen, giebt nach dieser Methode eine sehr eigenthümliche Erscheinung. Der letzte Lichtstreifen ist gänzlich unterhalb *F* und wird von einer schwarzen Zunge getheilt, die Farbe desselben ist glänzend grün. Der nächste liegt in der Mitte zwischen *F* und *G*, ist von glänzend blauer Farbe, dringt aber nicht sehr weit in die Flüssigkeit ein und wird nicht von einer schwarzen Zunge getheilt.

Der obere Streifen ist schwach indigfarben, dringt auch nicht weit in die Flüssigkeit ein und fängt erst unterhalb *G* an.

In einer früheren Mittheilung, machte ich auf die Wirkung des Sonnenlichts auf die Absorptionsstreifen des käuflichen Anthracen aufmerksam. Eine kalte Auflösung dieser Substanz, welche die Streifen sehr deutlich zeigt, verliert dieselben gänzlich, wenn man sie zehn Minuten lang den directen Strahlen der Sonne aussetzt. Thallen, ebenso behandelt, verliert den unteren Streifen schon in

fünf Minuten, aber der obere, breite, doppelte verschwindet erst nach dreißig Minuten.

Eine gesättigte heiße Auflösung verliert unter denselben Umständen ihren untern Streifen in dreißig Minuten und ihren oberen in ungefähr zwei Stunden. Zehn Minuten genügen jedoch, wenn man die Auflösung in den Brennpunkt einer Linse von 14 Zoll Durchmesser bringt. Läßt man eine Auflösung von weißem Anthracen abkühlen, welche eine Minute lang dem Sonnenstrahl ausgesetzt war, so setzt dieselbe weiße perlmutterartige Schuppen von reinem Anthracen ab, welche keine Spur von einem gestreiften Spectrum in ihrem Fluorescenzlichte zeigen.

Das gelbe Anthracen erhält man, indem man das rohe mit Benzin wäscht, es in heißem Benzol auflöst, filtrirt und umkrystallisirt. Wenn man nun die Auflösung dieses Products, welches viel Chrysogen enthält, zehn Minuten lang in dem Brennpunkt der Linse den Sonnenstrahlen aussetzt, so setzt dieselbe beim Erkalten beinahe weiße Anthracenkrystalle ab, welche aber noch ein gestreiftes Spectrum zeigen. Die Streifen sind zwar matter als zuvor, haben aber genau dieselbe Lage. Die Fluorescenz des Körpers ist ebenfalls sehr abgeschwächt.

Setzt man nun eine heiße Auflösung von Thallen in einer Flasche von vier Unzen Gehalt zehn Minuten lang im Brennpunkte der großen Linse den Sonnenstrahlen aus und läßt sie dann abkühlen, so erhält man beinahe weiße, mit etwas Grau angehauchte Krystalle, welche ein deutlich gestreiftes Spectrum haben. Die Streifen sind beinahe ebenso gelegen, wie die der ätherischen Auflösung, nur ein wenig weiter oben. Die Mittelpunkte derselben sind bei 7,34, 9,13, 11,17, mit Weglassung des untersten, welcher zu breit ist um ihn auf diese Weise zu bezeichnen.

Das Fluorescenzlicht dieser neuen Substanz ist hellblau und ich schlage für dieselbe den Namen *Petrollucen* vor. Die Auflösung derselben in Benzol zeigt eine geringe weitere Verschiebung nach oben. Die Streifen sind bei

7,38
trum
fen,
F u
blau

und
einig
das
hier
wur
dere
bei

wie
mäß
nich
bem
100
allen
felsen
esci

dun
Ben
oben
lung

len z
gem
zu
Ich
eine
star
lade
Po

7,38, 9,2 und 11,24 gelegen. Wirft man ein reines Spectrum auf die Auflösung, so sieht man nur zwei Lichtstreifen, den einen ungefähr vier Fünftel der Strecke zwischen *F* und *G*, und den andern oberhalb *G*. Ihre Farben sind blau und indigo.

Einwirkungen der Wärme.

Die stark ausgeprägte Verschiebung der Fluorescenz- und Absorptionsstreifen durch die Wärme, welche ich bei einigen Uransalzen beobachtet hatte, führte mich darauf das Thallen auf dieselbe Weise zu untersuchen. Obgleich hierbei aber die Temperatur bis auf den Punkt gesteigert wurde, wo sich festes Thallen zersetzte, wurde keine andere Wirkung bemerkt, als der Verlust der Fluorescenz bei hoher Temperatur.

Dasselbe ergab sich mit einer Benzolauflösung, welche, wie die von Stokes studirten organischen Körper, bei mäßiger Temperatur (etwa 100° C) ihre Fluorescenz nicht einbüßte. Dagegen verliert, wie Stokes ebenfalls bemerkte, das salpetersaure Uranoxyd schon weit unter 100° C. seine Fluorescenz. Das Gleiche fand ich bei allen Uransalzen, wie z. B. bei dem essigsäuren, schwefelsäuren und phosphorsauren, deren Auflösungen fluoresciren.

Bekanntlich bildet Anthracen mit Chlor eine Verbindung, Bichloranthracen, deren Auflösungen in Alkohol und Benzol stark fluoresciren und ein Spectrum geben, dessen oberer Theil gestreift ist. Siehe Hagenbach's Mittheilung in Pogg. Ann., Bd. 146, S. 385.

Dies brachte mich auf den Gedanken dasselbe mit Thallen zu versuchen. Nachdem ich erst etwas Bichloranthracen gemacht hatte, um mit dem Verfahren vollständig vertraut zu werden, behandelte ich Thallen auf dieselbe Weise. Ich vermischte es mit Benzol und leitete eine Stunde lang einen Strom Chlorgas hinein. Es entwickelte sich eine starke Hitze, und die ganze Substanz nahm eine Choccoladenfarbe an, zeigte aber keine Fähigkeit zu krystallisiren

und glich in jeder Hinsicht der als Trichloranthracen beschriebenen Substanz. In dem theerartigen Zustand und in der Auflösung war die Fluorescenz ziemlich stark und gab ein Spectrum von *C* bis *E* ohne Streifen.

Zunächst machte ich Bibromanthracen und untersuchte dessen Fluorescenz. Thallen, unter derselben Behandlung, bildete einen Körper, welcher aus der heißen Benzolauflösung in äußerst kleinen Nadeln krystallisirte, aber weder der feste Körper noch die Auflösung zeigte die geringste Fluorescenz.

Ich fand ferner, daß während Anthracen sich mit dem Doppelten von Pikrinsäure zu einem Körper verbindet, der in langen Nadeln von schöner Erdbeerfarbe krystallisirt, das Thallen dagegen voll viermal sein eigenes Gewicht der Pikrinsäure bedurfte, um damit gesättigt zu werden. Beim Abkühlen der heißen Auflösung bekommt man eine körnige Masse von winzigen aber schön orangenrothen Krystallen. Unter dem Mikroskop zeigen sich dieselben als kurze Prismen von gut definirten pyramidenförmigen Enden.

Schwefelsäure von 60° B., welche Anthracen schnell schwärzt, verleiht sogar bei gewöhnlicher Temperatur dem Thallen eine schöne grasgrüne Farbe, welche sich selbst bei einer Wärme von 60° C. nach Wochen nicht verändert.

In diesem Zustande hat das Thallen eine starke Fluorescenz und giebt ein gestreiftes Spectrum, ebenso wie im Normalzustand. Ich schliesse daraus, daß keine wirkliche Verbindung stattgefunden habe und daß die Farbenveränderung von Gelb zu Grün den von der Wirkung der Schwefelsäure herrührenden feinen schwarzen Theilchen zuzuschreiben sey. Diese Ansicht wird von dem Umstand bestätigt, daß die Schwefelsäure dem beinahe farblosen Petrollucen, eine dunkelgrüne, fast schwarze Farbe verleiht. Andauernde Erwärmung des, wie oben behandelten Thallen löst dasselbe auf und verwandelt es in einen Körper, welcher in Wasser vollkommen löslich ist.

len
quer

cher
eine
keit
sprie
höch
fähig

IV.

Hr.
liner
die e
gen
tung
welch
hatte
Uebe
Verh
thats
Da ic
sower
sucht
Subst
stigen
würde
1) Di

Die Pikriensäureverbindungen von Anthracen und Thallen haben keine Fluorescenz, und giebt uns dies eine bequeme Methode zur Ermittlung des Sättigungspunktes.

Ein wenig festes Thallen, zwischen zwei Glimmerblättchen in ein Becquerel'sches Phosphoriskop gebracht, zeigte eine helle Erleuchtung bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit, welche einer Fluorescenzdauer von $\frac{1}{500}$ Secunde entspricht; dagegen zeigte die Benzolauflösung selbst bei der höchsten Umdrehungsgeschwindigkeit, deren der Apparat fähig war, keine Erleuchtung.

IV. *Bemerkungen zu Hrn. Neesen's Beobachtungen über die elastische Nachwirkung;*
von F. Kohlrausch.

Hr. Neesen hat, zuerst in den Monatsberichten der Berliner Akademie (1874, S. 142), eine Untersuchung über die elastische Nachwirkung mitgetheilt, welche ihn zu einigen kritischen Bemerkungen über meine frühere Bearbeitung des Gegenstandes¹⁾ veranlaßt. Bei der Sorgfalt, welche ich damals auf meine Beobachtungen verwendet hatte, bei der Einfachheit des Verfahrens und endlich der Uebereinstimmung meiner Resultate in mannigfach variirten Verhältnissen war ich verwundert, daß ein Zweifel an dem thatsächlichen Inhalt meiner Arbeiten entstehen konnte. Da ich an den von Neesen mitgetheilten Resultaten ebensowenig zweifelte, so glaubte ich zuerst, der von ihm untersuchte Kautschuk verhalte sich abweichend von meinen Substanzen (Glas, Messing und Silber), was bei der sonstigen Verschiedenheit dieser Körper nicht überraschen würde. Um mich hiervon zu überzeugen, untersuchte ich

1) Diese Ann. Bd. CXIX, S. 340 und Bd. CXXVIII, S. 1, 207, 399.

selbst einen Kautschukfaden, fand aber ein Verhalten, welches meinen früheren Erfahrungen durchaus entsprach.

In dem letzten vorjährigen Hefte dieser Annalen (CLIII, S. 498) findet sich nun die ausführliche Mittheilung von Neesen's Beobachtungen und damit zugleich der Schlüssel zu den oben genannten Widersprüchen. Die von Neesen angenommene Differenz seiner und meiner Beobachtungen beruht nämlich auf einem Irrthum. Die von ihm aufgestellten Formeln haben nur die Bedeutung von Interpolationsformeln, keineswegs von physikalischen Gesetzen. Und wenn gleich die mitgetheilten Beobachtungen überhaupt nicht geeignet sind, ein Gesetz aus ihnen zu entwickeln, so zeigen sie wenigstens, daß die von mir früher aufgestellten Beziehungen sich mit durchaus gutem Erfolg auf sie anwenden lassen.

Ich gedachte diese Bemerkungen mit einer demnächstigen Mittheilung einer neuen Experimental-Untersuchung über elastische Nachwirkung ¹⁾ zu vereinigen; indessen sehe ich, daß der vermeintliche Widerspruch zwischen Neesen's und meinen Beobachtungen auch Andere zu Bedenken gegen die letzteren veranlaßt hat ²⁾. Dieses Mißtrauen aber möchte ich um so eher beseitigen, als eben jetzt endlich die elastische Nachwirkung das ihr gebührende Interesse in der Literatur findet.

Hinzu kommt noch der Umstand, daß Hr. O. E. Meyer für seine auf die innere Reibung gegründete Theorie der elastischen Nachwirkung ³⁾, gegen welche fast gleichzeitig von den HHrn. Boltzmann, Streintz und mir ⁴⁾ Einwendungen erhoben worden sind, eine Stütze in Neesen's Versuchen zu finden glaubt. Ich möchte zeigen, daß diese Stütze nicht vorhanden ist.

1) Vgl. Gött. Nachr. 1875. Febr. 3.

2) Boltzmann, Wien. Ber. 1874. Okt. 8.

3) Diese Ann. Bd. CLI, S. 108; Bd. CLIV, S. 359.

4) Wien. Sitz.-Ber. 1874, Okt. 8; d. Ann. Bd. CLIII, S. 405; Gött. Nachr. 1875, Febr. 3.

I. Meine früheren Beobachtungen.

Unter den obwaltenden Umständen darf ich die Vertheidigung meiner früheren Versuche kurz fassen.

Neesen wendet gegen dieselben zuerst ein, daß ich zur Hervorbringung der Torsion *magnetische Directionskräfte* gebraucht habe, welche den Verlauf der Erscheinung stören (Berl. Mon.-Ber. 1874, 142). Nun aber wird bei etwa neun Zehnteln meiner Versuche gar kein Magnet angewandt; z. B. nicht bei einer einzigen von den in meinem zweiten, größeren, Aufsätze mitgetheilten Beobachtungen. Die übrigen aber beziehen sich auf einen ganz anderen Fall, als den von Neesen untersuchten, und der Magnet diene hier nicht zur Hervorbringung, sondern zur *Messung* von Drehungsmomenten. Ich verstehe nicht, was zu obiger irrthümlichen Behauptung veranlaßt haben mag.

Zweitens wird die *Beruhigung* der anfänglichen Schwingungen eines Drahtes, welchen man gedreht hatte, durch eine kleine in *Oel* tauchende Platte mißlich gefunden (l. c.).

Aber man muß zunächst beachten, daß an den von mir untersuchten hart elastischen Körpern die elastische Nachwirkung überhaupt nur unter der Anwendung einer äußeren Beruhigung beobachtet werden konnte, da ohne eine solche die Schwingungen stundenlang andauern. Sogar bei dem Kautschuk, dessen Schwingungen sich viel schneller beruhigen, sind den Beobachtungen Neesen's die ersten 10 Minuten entgangen. Diese Zeit enthält unstreitig den interessanteren Theil der Nachwirkung (insbesondere wie mir scheint auch denjenigen Theil, aus welchem die von Neesen als Ausgangspunkt seiner Untersuchung gestellte Frage nach dem Zusammenhang zwischen Schwingungsdämpfung und elastischer Nachwirkung beantwortet werden muß).

Ferner könnte man die Meinung haben, daß die Schwingungen schon deswegen thunlichst bald beruhigt werden *müssen*, weil sie doch einen Einfluß auf den späteren Verlauf der Nachwirkung haben könnten.

Mir scheint also eine recht starke anfängliche Dämpfung der Schwingungen für die Untersuchung sehr wesentlich zu seyn. Natürlich ist eine *statische Reibung*, welche eine bleibende Abweichung von der Gleichgewichtslage bewirken kann, sorgfältig zu vermeiden. Den Beleg für ihre Abwesenheit liefern, außer dem in allen Beobachtungs-Reihen ganz regelmässigen Verlauf der Bewegung, meine Angaben (CXXVIII, 208) über die constante Einstellung des Spiegels. Ich habe mich um so sorgfältiger davon überzeugt, daß das Oel eine vollkommene Flüssigkeit war, als ich bei früheren Beobachtungen mit einer statischen Reibung des Beruhigungsmittels zu kämpfen hatte (l. c. 17). Um zweitens den *dynamischen Bewegungswiderstand* zu beurtheilen, genügt die Bemerkung, daß die Bewegung in 1^{ter} zu den ersten Zeiten, wo man beobachten konnte, kaum den 50. Theil der ganzen zu messenden Gröfse betrug, 1^{min} nach Beginn des Versuchs nur noch etwa $\frac{1}{150}$, 5^{min} nachher $\frac{1}{700}$. Bei so kleinen Bewegungen kam der Widerstand in dem Beruhigungsmittel nicht mehr in Betracht.

Die dritte von Neesen aufgestellte Möglichkeit, daß ein Unterschied der beiderseitigen Resultate daraus entspringen könnte, daß er das *untere*, ich dagegen das *obere* Ende des Drahtes drillte, erscheint ebenfalls nicht denkbar. Ich habe vorgezogen, die Drehung oben anzubringen, weil dadurch die anfänglichen Schwingungen gemindert wurden.

Während ich also den Bedenken gegen mein Verfahren in keinem Punkte zustimmen kann, bestreite ich auf der anderen Seite den Einwand Neesen's, daß das von mir aufgestellte Gesetz für den ersten Augenblick nach der Detorsion des Drahtes nicht anwendbar sey (weil es hier zu große Werthe ergiebt), umsoweniger, als ich diese Bemerkung sofort selbst machen mußte und gemacht habe (l. c. S. 215, 216). Ich beanspruche für meine Formel nichts anderes als die Bedeutung eines *empirischen Gesetzes von einfacher Form*, welches alle bisher beobachteten Vorgänge der elastischen Nachwirkung mit großer Annäherung

darstellt¹⁾. Findet man eine andere einfache Form, welche noch genauer und umfassender ist, oder welche auf einer rationellen Unterlage steht, so werde ich sie mit Freuden begrüßen. Jedes Gesetz aber oder jede Theorie, welche meinen Beobachtungen nicht Rechnung trägt, muß ich als unrichtig oder unvollständig ansehen.

2. Die Beobachtungen und Berechnungen von Neesen.

Ich wende mich jetzt zu der Frage, welche Folgerungen aus Neesen's Beobachtungen zu ziehen sind. Dabei erlaube ich mir kurz vor auszuschicken, worin die vermeintliche Differenz zwischen uns besteht.

Ich hatte gezeigt²⁾, daß man die Beobachtungen Weber's und meine eignen unter ein Gesetz zusammenfassen kann: Die Geschwindigkeit, mit welcher vermöge der elastischen Nachwirkung die Theile eines plötzlich deformirten Körpers sich der endlichen Ruhelage annähern, ist ihrem augenblicklichen Abstand x von derselben direct, und einer Potenz der Zeit t nach der Deformation umgekehrt proportional. Man hat also

$$-\frac{dx}{dt} = \alpha \frac{x}{t^m} \quad x = C \cdot e^{-\alpha t^m},$$

wo $m = 1 - n$ $\alpha = \frac{a}{1-n}$ ist.

In besonderen Fällen wurde $n = 1$, wodurch der Gränzfall $x = \frac{c}{t^a}$ entsteht. Immer war $n \begin{matrix} > 0 \\ < 1 \end{matrix}$.

Neesen glaubt aus seinen Beobachtungen $n = 0$, also $x = C \cdot e^{-at}$ schließen zu müssen. Mit diesem Schluß verhält es sich aber folgendermaßen.

Die erste Gruppe der Beobachtungen umfaßt nur die Zeiten von ungefähr $t = 10^{\text{min}}$ bis 20^{min} ; die schließliche Ruhelage ist nicht beobachtet, sondern wird so angenommen, wie sie Neesen's Ausdruck am besten entspricht. Da-

1) Auch die neuen Beobachtungen Boltzmann's ordnen sich ihm unter. (Wien. Sitz.-Ber. 1874, Oct. 4.)

2) Vgl. Ann. Bd. CXXVIII, S. 9.

durch wird die Gleichung, auf die beobachteten Zahlen angewandt, $x = x_0 + C \cdot e^{-at}$; man verfügt also über drei passend zu bestimmende Constanten. Nun aber ist das von Neesen mitgetheilte Curvenstück so kurz und so wenig gekrümmt, daß es wunderbar wäre, wenn sich diese drei Constanten nicht so bestimmen ließen, daß der Beobachtung Genüge geschieht. Die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung beweist deswegen auch nicht, daß die erste Potenz von t im Exponenten stehen muß.

Um dieß zu zeigen, will ich einmal \sqrt{t} statt t (d. h. $m = n = \frac{1}{2}$) setzen. Ich erhalte dann für Neesen's Reihe S. 511, (29^o, 20) $C = 249,2$ und $a = 0,05743$. Die Uebereinstimmung der Rechnung ist sogar noch etwas besser als bei Neesen, wie folgende Tabelle zeigt, worin $X = x - x_0$ gesetzt ist.

t	X beob.	X ber.	Diff.
600 ^{sec}	61,1	61,0	— 0,1
660	57,0	57,0	$\pm 0,0$
720	53,4	53,4	$\pm 0,0$
780	50,0	50,1	+ 0,1
840	47,1	47,2	+ 0,1
900	44,6	44,5	— 0,1
960	42,0	42,0	$\pm 0,0$
1020	39,9	39,8	— 0,1
1080	37,8	37,7	— 0,1
1140	35,9	35,8	— 0,1
1200	34,0	34,1	+ 0,1.

Mit ungefähr gleichem Erfolg hätte ich irgend eine andere Potenz zwischen 0 und 1 nehmen können.

Aus der ersten Gruppe von Beobachtungen ist also gar kein positiver Schluss auf die Größe des Exponenten m zu ziehen.

Dagegen zeigt eine Vergleichung der hier gegebenen Reihe mit der unter gleichen Umständen beobachteten Reihe S. 518, welche bis zu späteren Zeiten fortgesetzt

worden ist, daß Neesen's Schluß $m=1$ unrichtig ist, denn die daraus abgeleitete Ruhelage wird in Wirklichkeit bereits bei $t=2200^{\text{sec}}$ überschritten.

Die zweite Gruppe von Beobachtungssätzen enthält die Zeiträume beiläufig von 10 bis 20 und 30 bis 60^{min} . Hier zeigt sich sofort die eben aufgestellte Behauptung bestätigt, daß die Formel mit $m=1$ nicht anwendbar ist. Neesen ergänzt dieselbe deswegen in folgender Weise. Für den zweiten Zeitraum setzt er $X = C \cdot e^{-at}$, für den ersten $X = C \cdot e^{-at} + C' \cdot e^{-a't}$. Daß diese Formeln die Beobachtung ziemlich vollkommen darstellen, kann nicht überraschen, denn man verfügt über fünf passend zu bestimmende Constanten, nämlich außer obigen vieren noch über die willkürlich angenommene Ruhelage. (Nach der Bemerkung S. 518 scheint es sogar, als ob für die beiden Glieder zwei verschiedene Ruhelagen angenommen worden seyen; dann hätte man gar sechs Constanten.)

Daß die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung nichts für die Richtigkeit obiger Formel beweist, will ich, gerade wie vorhin, zeigen, indem ich anstatt t in beiden Exponenten $1/t$ setze. Mit $C=139,3$, $C'=583$, $a=0,02172$, $a'=0,1596$ erhält man alsdann

t	X beob.	X ber.	Diff.
570 ^{sec}	95,6	95,8	+ 0,2
630	91,5	91,4	- 0,1
690	87,7	87,5	- 0,2
750	84,4	84,2	- 0,2
810	81,4	81,3	- 0,1
870	78,7	78,7	$\pm 0,0$
930	76,4	76,3	- 0,1
990	74,2	74,2	$\pm 0,0$
1050	72,1	72,2	+ 0,1
1110	70,4	70,4	$\pm 0,0$
1170	68,5	68,7	+ 0,2

t	X beob.	X ber.	Diff.
1620 ^{sec}	58,1	58,1	$\pm 0,0$
1920	53,8	53,8	$\pm 0,0$
2220	50,0	50,1	$+ 0,1$
2520	46,8	46,8	$\pm 0,0$
2820	43,9	43,9	$\pm 0,0$
3120	41,4	41,4	$\pm 0,0$
3420	39,1	39,1	$\pm 0,0$

Eine physikalische Bedeutung endlich kann man diesen Rechnungen kaum zuschreiben, denn zu diesem Zwecke müßte doch auf die ganze Reihe ein und dasselbe Gesetz angewendet werden. Nach unserer Berechnungsweise aber würde sich, wenn nicht die Zeiten von 1170 bis 1620^{sec} ausgelassen wären, irgendwo ein Sprung um 2 bis 3 Scalentheile zeigen. Auch die Regellosigkeit der bei verschiedenen Temperaturen von Neesen erhaltenen Zahlenwerthe für die Constanten scheint zu beweisen, daß dieselben keinen inneren Zusammenhang mit den Erscheinungen der Nachwirkung haben.

3. Neesen's Beobachtungen und meine Formel.

Zum Schluß will ich nun noch meinen Ausdruck (vgl. S. 583) auf dieselbe Beobachtungsreihe anwenden. Da die Rechnung zeigte, daß m jedenfalls klein wird, setzte ich zur Einfachheit $m=0$, wobei die Formel $X = \frac{c}{t^a}$ zur Anwendung kommt. Damit soll nicht behauptet werden, daß ein etwas größeres m nicht noch eine bessere Uebereinstimmung geben könnte, im Gegentheil ist dieß nach dem Gange der Differenzen wahrscheinlich. Aber bei der Unbekanntheit der Ruhelage würde man, um das bestentsprechende m zu ermitteln, auf umständliche Rechnungen kommen, deren Ausführung nicht lohnt. Neesen selbst hat am Kautschukfaden kleine Störungen in dem Verlauf der Nachwirkung bemerkt, und solche bewirken bei den kurzen vorliegenden Beobachtungsstrecken

und bei unbekannter Ruhelage eine erhebliche Verschiedenheit der Rechnungsergebnisse.

Mit $c = 1187,2$ und $\alpha = 0,3648$ kommt

t	X beob.	X ber.	Diff.
570 ^{sec}	117,3	117,3	$\pm 0,0$
630	113,2	113,1	$- 0,1$
690	109,4	109,4	$\pm 0,0$
750	106,1	106,1	$\pm 0,0$
810	103,1	103,2	$+ 0,1$
870	100,4	100,5	$+ 0,1$
930	98,1	98,1	$\pm 0,0$
990	95,9	95,9	$\pm 0,0$
1050	93,8	93,9	$+ 0,1$
1110	92,1	92,0	$- 0,1$
1170	90,2	90,2	$\pm 0,0$
1620	79,8	80,1	$+ 0,3$
1920	75,5	75,3	$- 0,1$
2220	71,7	71,4	$- 0,3$
2520	68,5	68,2	$- 0,3$
2820	65,6	65,5	$- 0,1$
3120	63,1	63,1	$\pm 0,0$
3420	60,8	61,0	$+ 0,2$

Die Uebereinstimmung ist hier bei nur drei Constanten etwa so gut, wie in Neesen's Rechnungen mit 5 oder 6 Constanten. Besonders zu betonen ist, daß wir einen und denselben Ausdruck auf die ganze Beobachtungsreihe angewandt haben.

Würzburg, Juni 1875.

**V. Erwiderung auf die „Bemerkungen“ des
Professor O. E. Meyer zu meiner Abhandlung:
„Ueber die Dämpfung der Torsionsschwin-
gungen von Drähten“;
von Heinrich Streintz in Graz.**

Im Novemberheft des vorigen Jahrganges dieser Annalen veröffentlichte ich einen Auszug aus meinen in den Sitzungsberichten (März 1874) der Wiener Academie abgedruckten und im Titel genannten Arbeit und besprach in demselben die in der jüngsten Zeit erschienenen auf die Theorie der elastischen Nachwirkung Bezug habenden Arbeiten.

Bei dieser Gelegenheit sah ich mich genöthigt einige Einwürfe gegen die Theorie der elastischen Nachwirkung des Prof. O. E. Meyer auszusprechen. Das Heft, in welchem der genannte Auszug enthalten ist, erschien gegen Ende des Monates December.

Herr Prof. Meyer schrieb sogleich, nämlich Anfang Januar einige „Bemerkungen“ zu meinen Einwürfen, auf die ich nun erwidere.

Hätte Hr. Meyer, etwa durch einen Zufall verhindert, seine „Bemerkungen“ um einen halben Monat später verfaßt, so hätte derselbe Gelegenheit gehabt unter einem auch dem Prof. Kohlrausch zu antworten, der so ziemlich dasselbe, wie ich gegen seine Theorie einwendet, und zwar vollständig unabhängig von mir. Siehe Nachrichten d. Göttinger Gesellsch. d. Wiss. 1875 3. Februar.

Auch dem Prof. Boltzmann hätte H. Meyer dann entgegnen können, welcher in viel schärferer Weise als Kohlrausch und ich seine Theorie angreift. Siehe Sitzungsber. der Wien. Ak. der Wiss. 1874. Oct.

Die letztgenannte Arbeit hat Hr. Meyer allerdings in einem Zusatze bei der Correctur mit einigen Zeilen erwähnt.

Durch die genannten Arbeiten Kohlrausch's und insbesondere Boltzmann's sind nun meine Einwände so gestützt worden, daß sie weiterer Vertheidigung von meiner Seite gar nicht bedürfen.

Ein Draht, der in einer gewissen Stellung tordirt gehalten wird, besitzt allerdings theoretisch eine gewisse Geschwindigkeit, doch kann der Fall, daß der Draht keine Geschwindigkeit besitzt, mit beliebiger Annäherung erreicht werden. Näheres siehe Boltzmann S. 1 bis 4. Für meine Person habe ich jedoch noch auf einige andere Bemerkungen Meyer's zu antworten.

Auf S. 355 stellt Hr. Meyer die von mir angegebene Berichtigung, nämlich daß es in seiner Arbeit heißen muß „durch eine Kraft gespannt“ statt „durch ein Gewicht belastet“, in Parallele mit dem von mir gebrauchten Ausdruck, daß „Drähte gedämpft werden“. Durch diese Gegenüberstellung gewinnt es den Anschein, als wäre ich auf Wortklauberei und Aufsuchung stylistischer Versehen ausgegangen; denn nur als ein solches kann man im strengsten Falle die von mir gebrachte kurze Ausdrucksweise ansehen. Wenn jedoch *wiederholt* von einem angehängten *Gewichte*, durch welches der Draht *belastet* ist, gesprochen wird und die träge Masse desselben nicht in der Gränzbedingung erscheint, so ist dieß ein Versehen ganz anderer Art als das meinige. Daß dasselbe auch wirklich zu Mißverständnissen führen kann, scheint mir dadurch bewiesen, daß Hr. Dr. Neesen, welcher den Fall experimentell behandelte, daß ein Kautschuckfaden durch ein Gewicht belastet ist, die Formel Meyer's auf seinen Fall anwendet, ohne nur irgendwie dieser Verschiedenheit zu gedenken.

Hr. Meyer führt im weiteren ein Experiment an, welches jedoch nicht ausführlich genug beschrieben ist, um von demselben eine rechte Vorstellung gewinnen zu können.

Man weiß nämlich gar nicht warum die Drähte sich überhaupt bewegen. Wahrscheinlich sind sie vor dem

Versuche einer Torsion ausgesetzt gewesen, oder haben von ihrer Erzeugung her eine solche nachwirkende Torsion. In keinem Falle jedoch scheint mir das Experiment etwas zu zeigen, was man nach den schon lange bekannten Versuchen von Kohlrausch nicht schon gewußt hätte.

Im letzten Decemberheft dieser Annalen hat Hr. Neesen in Berlin umfangreiche Arbeiten über die elastische Nachwirkung veröffentlicht, und Hr. Meyer sieht nun diese als die *beste* Stütze seiner Theorie an. Dagegen muß ich vor allem bemerken, daß ich nie meine an Metalldrähten angestellten Untersuchungen, durch solche an Kautschuckfäden angestellte, werde als widerlegt betrachten können. Uebrigens ist diese Stütze nicht einmal einer thönernen zu vergleichen. Eine graphische Darstellung der Neesen'schen Beobachtungen zeigt nämlich, daß die durch dieselben gebildete Curve keinen ausgesprochenen Charakter an sich trägt, und nur sehr schwach gekrümmt ist, indem das Zeitintervall, das sie umfaßt, zu klein ist. Die Folge davon ist, daß die Neesen'schen Versuchsreihen von sehr verschiedenen Curven aufgenommen werden können.

Um diese Behauptung schlagend zu beweisen, führe ich im folgenden eine Tabelle an, welche zeigt, daß die I. Neesen'sche Versuchsreihe ebensogut wie durch die Exponentialcurve auch durch einen Kreis aufgenommen werden. Ich rechnete die Constanten dieses Kreises *nicht* nach kleinsten Quadraten, sondern aus den Beobachtungen für die Zeiten $t = 10, 13, 18$ Min. und veränderte schließlich noch die Constante b der Gleichung ein wenig zur besseren Anpassung an die Beobachtungen.

Der Kreis, welcher der Tabelle zu Grunde gelegt ist, ist folgender:

$$(t - a)^2 + (x - b)^2 = r^2,$$

wobei

$$a = 118,36 \quad b = 62,88 \quad r = 110,318.$$

In der Tabelle enthält die erste Spalte die Zeiten in Minuten, die zweite die Neesen'sche Beobachtungsreihe, die dritte die nach der Kreisgleichung gerechneten Werthe des x , die vierte die Differenzen Δ zwischen Beobachtung und Rechnung; die fünfte endlich die Differenzen Δ' , welche sich bei der Neesen'schen Formel $x = ce^{-\beta t}$ zwischen Beobachtung und Rechnung ergaben.

t	x		Δ	Δ'
	beob.	berechn.		
10	42,2	42,2	- 0,1	- 0,1
11	37,5	37,5	\pm 0,0	+ 0,2
12	33,8	33,6	- 0,2	\pm 0,0
13	30,3	30,2	- 0,1	- 0,1
14	27,1	27,1	\pm 0,0	- 0,1
15	24,2	24,3	+ 0,1	- 0,1
16	21,6	21,7	+ 0,1	\pm 0,0
17	19,3	19,3	\pm 0,0	\pm 0,0
18	17,2	17,1	- 0,1	\pm 0,0
$\Sigma \Delta^2 = 9$			$\Sigma \Delta'^2 = 8$	

Wenn man bedenkt, daß die Rechnung *nicht* nach kleinsten Quadraten durchgeführt ist, was für den vorliegenden Zweck wohl überflüssig gewesen wäre, so muß man zugeben, daß der Kreis mindestens ebensogut wie die Neesen'sche Gleichung die Beobachtungen aufnimmt.

Bemerkt muß noch werden, daß die von Neesen ursprünglich den Rechnungen zu Grunde gelegte Gleichung $x = C + ce^{-\beta t}$ lautete, und erst nach der Rechnung x mit C zusammengezogen wurde, daher diese Gleichung ebenfalls sowie die Kreisgleichung drei Constante enthält.

Hr. Dr. Neesen bringt im weiteren noch Tabellen, welche ein größeres Zeitintervall als die ersteren umfassen. Natürlich paßt dann die eben angeführte Gleichung nicht mehr, sondern muß auf eine erweitert werden, welche 5 Constante enthält. Das Zeitintervall ist jedoch auch hier zur Bestimmung einer 5 Constante ent-

haltenden Gleichung viel zu klein, und es würden sich deshalb hier ebenso gut wie früher, verschiedene andere 5 Constante enthaltende Formeln aufschreiben lassen, welche mit gleicher Annäherung die Beobachtungen darstellen, wie die von Neesen genommene. Dafs bei den obwaltenden Verhältnissen die Coëfficienten β und β_1 auch nicht annähernd der von Meyer aufgestellten Bedingung genügen, kann wohl nicht unerwartet kommen. Die Neesen'schen Beobachtungen sind offenbar sehr sorgfältig unternommen, für die aufgestellten Formeln beweisen sie jedoch nichts.

Ich muß schließlic noch die Einwürfe, welche Hr. Prof. Meyer gegen meine Beobachtungen macht, entkräften. Dabei werde ich mich ziemlich kurz fassen, da ich beabsichtige im Verlaufe des nächsten Winters Schwingungsversuche anzustellen, bei welchen ich den Einfluß des umgebenden Gases genauer bestimmen und zugleich werde vermindern können. Bisher war es mir nicht möglich meine Untersuchungen über diesen Gegenstand fortzusetzen, indem das neue physikalische Institut erst im nächsten Herbst wird eröffnet werden und in dem alten Laboratorium solche Untersuchungen, wenigstens jetzt, nicht möglich gewesen wären.

Um jedoch Hrn. Prof. Meyer's Einwände, welche die von mir aufgestellten Gesetze nur dem störenden Einflusse des Luftwiderstandes zuschreiben, auch jetzt schon zu entkräften, muß ich darauf hinweisen, dafs ich beim weichen Messingdrahte, welcher das geringste logarithmische Decrement lieferte, den Werth $100000 L = 59$ und ein anderes mal 47 (bei der Zimmertemperatur) erhalten habe, und die Abnahme desselben beim Uebergange von höheren Temperaturen zu der niederen Zimmertemperatur zeigt, dafs bei noch niederen Temperaturen dieser Werth noch viel kleiner ausfallen müßte. Da nun auch bei jenem noch kleineren Werthe die Luftdämpfung nur einen Bruchtheil des genannten Werthes ausmachen kann, so wird man wohl berechtigt seyn anzunehmen, dafs der dem Luftwiderstande zuzuschreibende Theil des logarithmischen

Decr
nom
nur
Gew
von
wen
wich
Gew
I
her
wirk
theil
hoch
Gew
samm
V
Mey
Dräh
von
stand
stens
unge
Luft
I
als e
das
wich
nach
nen
reibu
klein
Resu
gelei
tes,
als i
Pog

Decrementes nicht den Werth 20 bis 25 der oben angenommenen Einheiten übersteige. Hierbei war allerdings nur *eines* der scheibenförmigen Gewichte angehängt. Diese Gewichte hatten einen Radius von 40^{mm} und eine Höhe von 20^{mm}. Es folgt durch eine einfache Rechnung, daß, wenn der Luftwiderstand bei der Drehung eines der Gewichte gleich 1 gesetzt wird, derselbe für zwei und drei Gewichte die Werthe 1,43 und 1,87 hat.

Der früher angenommene Werth von 25 rührt nun her von der Reibung des Gewichtes und des als Flügel wirkenden Spiegels. Wenn dem letzteren daher der Antheil 6 zugemessen wird, so ist dabei gewiß nicht zu hoch gegriffen; es bleibt dann für die Wirkung des *einen* Gewichtes der Werth 19 und für sämtliche drei Gewichte sammt dem Spiegel der Werth 40.

Wenn ich nun bei jenen Beobachtungen, welche Hrn. Meyer besonders zweifelhaft erscheinen, immer solche Drähte gewählt habe, welche ein logarithmisches Decrement von etwa 400 hatten, so beträgt der durch den Luftwiderstand erzeugte Theil des logarithmischen Decrementes höchstens $\frac{1}{10}$ des ganzen Werthes, ein Bruchtheil, welcher ganz ungenügend ist, um meine Resultate aus dem Mitwirken der Luftreibung erklären zu können.

Ich will übrigens die durchgeführte Ueberlegung nur als eine beiläufige betrachtet wissen, weil beim Stahldrahte das *Drehmoment* und wegen der größeren Masse der Gewichte die *Schwingungsdauer* eine *größere* war. Da aber nach dem auf S. 35 meiner Originalabhandlung angegebenen Werthe das logarithmische Decrement für die Luftreibung den Werth $L = \frac{k\pi^2}{M\tau}$ besitzt, so ist dasselbe desto kleiner, je größer M und τ ist. Es ist daher bei den Resultaten, aus welchen ich die bezweifelte Gesetze abgeleitet habe, der Antheil des logarithmischen Decrementes, welcher von der Luftreibung herrührt, *noch kleiner*, als ihn meine Rechnung liefert.

Schließlich muß ich mich gegen die Behauptung Meyer's verwahren, daß meine Beobachtungen weder unter einander, noch mit den von mir aufgestellten Gesetzen gehörig übereinstimmen. Sie stimmen so weit, als es überhaupt bei der fortwährend störenden Einwirkung der Accommodation zu erreichen war, und vollständig hinreichend, um meine Behauptungen zu beweisen, wovon sich jeder gewissenhafte Leser meiner Originalarbeit überzeugen kann. In dem Falle, in welchem ich keine gute Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungen erzielen konnte, nämlich bei der Abhängigkeit des log. Decr. vom Querschnitte des Drahtes, habe ich das Gesetz, das mir aus den Beobachtungen hervorzugehen scheint, auch mit einer gewissen Reserve ausgesprochen. Warum die Uebereinstimmung bei dieser Beobachtungsreihe nicht genügend ausfallen konnte, habe ich an der betreffenden Stelle angegeben.

Ich glaube hierdurch die Einwände gegen meine Beobachtungen genügend widerlegt zu haben. Eine weitere Polemik scheint mir übrigens bei einer Frage, welche schließlich doch experimentell entschieden werden muß, überflüssig, bevor nicht weitere vom Experimente gegebene Daten vorliegen.

Graz, 25. Juni 1875.

VI.

W
dur
ist,
wert
der
habe
welc
wer
Der
der
in d
Elek
mehr
schic
wart
trisc
kalis
Proc
den
Ers
tung
schon
exper
in ne
zu ve

1)
3

VI. *Ueber eine Methode die Leitungsfähigkeit
von Flüssigkeiten für Elektricität
zu bestimmen;
von Dr. A. Oberbeck,*

Lehrer an der Sophien-Realschule zu Berlin.

(Eine Gelegenheitschrift zum 50jährigen Jubiläum der Friedrichs-
Werderschen Gewerbeschule.)

Während die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle durch zahlreiche und genaue Versuche festgestellt worden ist, und auf Grund dieser Versuche sich bereits bemerkenswerthe Gesetzmäßigkeiten, wie z. B. die Uebereinstimmung der Leitungsfähigkeit für Elektricität und Wärme, ergeben haben, sind die entsprechenden Gröößen für Flüssigkeiten, welche durch den elektrischen Strom chemisch zersetzt werden, nur in einigen, wenigen Fällen genauer bekannt. Der Grund dieser Erscheinung liegt wohl hauptsächlich in der größeren Schwierigkeit der Untersuchung, nicht aber in dem geringeren Interesse, welches der Durchgang der Elektricität durch zersetzbare Flüssigkeiten bietet. Vielmehr läßt die genaue Kenntniß dieses Vorgangs nach verschiedenen Seiten eine Bereicherung unseres Wissens erwarten, indem dieselbe sowohl für die Theorie des elektrischen Stromes als auch für die Erkenntniß der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten und für den Proceß der chemischen Zersetzung von Bedeutung zu werden verspricht. Die erste Grundlage für das Studium dieser Erscheinungen ist eine umfassende Ermittlung der Leitungsfähigkeit der verschiedensten Flüssigkeiten. Wie indess schon erwähnt, ist gerade diese Bestimmung mit einer Reihe experimenteller Schwierigkeiten verbunden, und ist es erst in neuester Zeit gelungen, die Mängel früherer Methoden zu vermeiden und zuverlässige Resultate zu liefern ¹⁾. Doch

1) Vgl. Wiedemann, Galvanismus und Elektromagnetismus 1872, I, 328 — 333.

erstrecken sich dieselben nur auf eine kleine Anzahl relativ gut leitender Flüssigkeiten, nämlich ausschließlich auf Lösungen von Säuren und Salzen in Wasser. Abgesehen davon, daß die hierdurch festgestellten Thatsachen noch viel zu wenig zahlreich sind, um theoretische Folgerungen daraus ziehen zu können, sind die untersuchten Flüssigkeiten von complicirter Zusammensetzung, da sie mindestens aus zwei chemischen Verbindungen bestehen. Man sollte daher glauben, daß es zweckmäßiger gewesen wäre mit den einfachsten Verbindungen, beispielsweise mit reinem Wasser, die Untersuchung zu beginnen. Wenn sich in der Folge noch die Gelegenheit finden wird auseinanderzusetzen, warum sich die Bestimmung der Leitungsfähigkeit des Wassers bisher nicht genügend hat ausführen lassen, so mag doch schon hier erwähnt werden, daß dieselbe eine sehr kleine ist, so daß die bisher angewandten Methoden zu keinen genügenden Resultaten geführt haben würden. Dasselbe gilt in noch höherem Maasse für andere Flüssigkeiten, wie z. B. für Alkohol und Aether, welche die Elektrizität noch schlechter leiten als Wasser. Es kam daher darauf an, eine neue Art der Bestimmung zu ermitteln, welche gerade für schlecht leitende Flüssigkeiten anwendbar wäre und somit als Ergänzung der bisher bekannten Methoden dienen könnte. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren erfüllt, dessen Beschreibung sogleich folgen wird. Genügt dasselbe auch noch nicht allen Anforderungen, welche man an eine strenge, physikalische Methode stellen muß, so glaubt der Verfasser zu einer vorläufigen Mittheilung desselben berechtigt zu seyn, weil dasselbe schon jetzt geeignet erscheint, neue Aufschlüsse in einem noch wenig durchforschten Gebiete zu geben.

Verbindet man die Enden der Inductionsspirale eines gewöhnlichen Inductionsapparates leitend mit den Kugeln eines Funkenmikrometers, so läßt sich bei einer bestimmten Stärke des inducirenden Stromes eine Entfernung der Kugeln ermitteln, bei welcher eben noch ein continuirlicher Funkenstrom übergeht, während bei einer geringen Zunahme

der Entfernung kein Funken mehr überspringt. Führt man außerdem von dem einen Ende der Inductionsspirale zum andern eine Zweigleitung ohne Unterbrechungsstelle, so hat die inducirte Elektricität zwei verschiedene Wege zu ihrer Ausgleichung. Es hängt dann von dem Intensitätsverlauf des Inductionsstromes und von den Widerstandsgrößen der Zweigleitung ab, ob noch Funken zwischen den Kugeln überspringen. Besteht die Zweigleitung aus Metalldraht von nicht zu bedeutender Länge, so verschwindet der Funkenstrom und tritt auch bei der größtmöglichen Annäherung der Kugeln nicht wieder auf. Besteht sie dagegen aus schlecht leitenden Flüssigkeiten in engen Röhren, so bedarf es nur einer geringen Annäherung der Mikrometerkugeln, um den Funkenstrom wieder erscheinen zu lassen. Diese, leicht zu wiederholenden Versuche können, in geeigneter Weise angestellt, dazu dienen, die Leitungsfähigkeiten verschiedener Flüssigkeiten zu vergleichen.

Die Art und Weise, wie dabei verfahren werden muß, wird aus der folgenden Beschreibung ersichtlich werden. Für eine bestimmte, stets an einer Tangentenbussole controlirte Stärke des inducirenden Stromes wird die Funkenlänge des Inductionsstromes mit Hülfe des Funkenmikrometers ermittelt. Dann wird als Zweigleitung die zu untersuchende Flüssigkeit in einer langen und engen Glasröhre ebenfalls mit den Polen des Inductionsapparats in Verbindung gesetzt und von Neuem die nunmehr verminderte Funkenstrecke bestimmt. Als Funkenstrecke ist hier diejenige Entfernung der beiden Kugeln zu verstehen, bei welcher eben noch ein continuirlicher Funkenstrom übergeht, während eine geringe Vergrößerung den Funkenstrom sofort verschwinden macht. Verändert man dann die Länge der Flüssigkeitssäule, so wird auch die eben erwähnte Funkenstrecke eine andere. Auf diese Weise wird eine Beobachtungsreihe correspondirender Funkenlängen und Flüssigkeitsstrecken gewonnen. Eine andere Flüssigkeit liefert eine ähnliche Beobachtungsreihe. Um nun das Verhältniß der Leitungsfähigkeiten beider Flüssigkeiten zu be-

stimmen, werden beide Beobachtungsreihen graphisch dargestellt, indem die Längen der Flüssigkeiten als Abscissen, die zugehörigen Funkenstrecken als Ordinaten aufgezeichnet werden. Dann erhält man fortlaufende Curven, welche meist in ihrem Verlauf Aehnlichkeit mit Parabeln haben. Aus diesen Curven werden dann wieder die Längen derjenigen Flüssigkeitssäulen ermittelt, welche gleichen Funkenstrecken entsprechen. Nimmt man nun an, daß gleiche Funkenstrecken in dem oben erörterten Sinne gleiche Widerstände in der Zweigleitung anzeigen, so müssen bei gleichen Querschnitten die Längen der Flüssigkeitssäulen in denselben Verhältnisse stehen, wie die Leitungsfähigkeiten.

Diese Annahme, welche die Grundlage der ganzen Methode bildet und welche nicht ohne Weiteres klar ist, bedarf einer ausführlicheren Erörterung. Damit zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers ein Funke überspringt, ist es nothwendig, daß auf denselben ein bestimmter Potentialunterschied vorhanden ist, welcher von der Menge der freien Elektrizität auf denselben abhängt. Diese Menge wird bei vorhandener Zweigleitung in jedem Augenblick vermindert und das Maximum des Potentialunterschiedes, welches bei jedem Inductionsstrom auftritt, wird demnach auch einen geringeren Werth erhalten. Wie man sieht, kommt es nun darauf an, die durch die Zweigleitung abfließende Elektrizitätsmenge zu berechnen. Dieselbe hängt von dem Verlauf des Inductionsstromes einerseits, andererseits von Länge, Querschnitt und Leitungsvermögen der Zweigleitung ab. Was den Verlauf des Inductionsstromes betrifft, so ist derselbe noch nicht genügend bekannt und überhaupt von manchen Nebenumständen abhängig. In erster Annäherung indeß wird man den Inductionsstrom ansehen können als herrührend von einer ungemein großen, constanten elektromotorischen Kraft, deren Wirkung von außerordentlich kurzer Dauer ist. Auf Grund dieser Vorstellung kann man einen Ausdruck für die durch die Zweigleitung fließende Elektrizitätsmenge aufstellen. In derselben bewegt sich die Elektrizität nach Art der geleiteten

Wärme¹⁾. Nennt man nämlich V das Potential eines Punktes x der Zweigleitung zur Zeit t , a^2 eine der Leitungsfähigkeit in der Zweigleitung proportionale Gröfse, deren genauere Bedeutung hier nicht ausführlicher besprochen werden kann, so muß V der partiellen Differentialgleichung genügen:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2},$$

Zur Bestimmung von V kommen noch die Bedingungen hinzu:

$$V = 0, \quad \text{für } t = 0$$

$$V = +M, \quad \text{„ } x = 0$$

$$V = -M, \quad \text{„ } x = l,$$

wobei l die Länge der Flüssigkeitssäule bedeutet, $\pm M$ den Potentialen an den Inductionsspirale entsprechen. Hat man hiernach V berechnet, so ist die zur Zeit t durch einen Querschnitt q der Flüssigkeit von der Leitungsfähigkeit λ hindurchfließende Elektricitätsmenge:

$$E = -\lambda q \cdot \frac{\partial V}{\partial x}.$$

Die Lösung der partiellen Differentialgleichung ist²⁾:

$$V = M \left\{ \frac{l-2x}{l} - \frac{4}{\pi} \sum_1^\infty e^{-a^2 \left(\frac{2\pi n}{l} \right)^2 t} \frac{1}{2n} \cdot \sin \frac{2\pi n}{l} x \right\}.$$

Hieraus ergibt sich die durch den Querschnitt $x=0$, oder $x=l$ abfließende Elektricitätsmenge:

$$E = M \frac{\lambda q}{l} \left\{ 1 + 2 \sum_1^\infty e^{-a^2 \left(\frac{2\pi n}{l} \right)^2 t} \right\}.$$

Diese Gröfse ist in erster Annäherung umgekehrt proportional mit dem Widerstande der Zweigleitung, welcher $= \frac{l}{\lambda q}$ ist. Sind nun in zwei verschiedenen Fällen die durch Funkenstrecken beobachteten Potentialunterschiede dieselben, so darf man daraus schliessen, daß die abflie-

1) Kirchhoff, Pogg. Ann. Bd. 100 und 102.

2) Riemann, Partielle Differentialgleichungen S. 141.

senden Elektricitätsmengen ebenfalls dieselben sind, und daß also zunächst die Widerstände der Zweigleitungen einander gleich sind. Hierbei sind allerdings die in den Klammern stehenden Summen unberücksichtigt geblieben. Doch habe ich mich durch directe Versuche überzeugt, daß dieselben keinen erheblichen Einfluß auf das Resultat ausüben können.

Nach der soeben ausführlich besprochenen Methode wurde die Leitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten untersucht, und sollen jetzt einige der gefundenen Resultate mitgetheilt werden. Zum Verständniß der folgenden Zahlenwerthe muß noch bemerkt werden, daß zur Vermeidung sehr kleiner Brüche stets der umgekehrte Werth der Leitungsfähigkeit der „specifische Widerstand“ wird angegeben werden, ferner daß dieser „spec. Widerstand“ auf den Widerstand einer concentrirten, neutralen Lösung von Kupfervitriol als Einheit bezogen ist.

Wie schon anfangs hervorgehoben, schien es zunächst wünschenswerth, den specifischen Widerstand des reinen Wassers festzustellen. Es wurde deshalb zu verschiedenen Zeiten käufliches, destillirtes Wasser untersucht, dabei aber eine Reihe nicht unerheblich von einander abweichender Zahlenwerthe gefunden, welche bewiesen, daß die Leitungsfähigkeit des Wassers in höchst auffallender Weise durch die geringsten Verunreinigungen beeinflusst, resp. vergrößert wird. Besonders scheint bei längerer Berührung mit den Glaswänden eine kleine Menge des Glases in Lösung überzugehen. Von den erhaltenen Zahlenwerthen mag der Widerstand derjenigen Wassersorte ausgeführt werden, welche als Lösungsmittel für eine Reihe von Salzen gedient hat. Es fand sich für denselben die Zahl 390. Doch bemerke ich, daß bei andern Wassersorten Widerstände gefunden wurden, welche mehr als das 5fache betrug, so daß es vermuthlich durch wiederholte, vorsichtige Destillation und Reinigung gelingen würde, den spec. Widerstand des Wassers noch erheblich zu steigern. Als Beweis für die vorhin aufgestellte

Behauptung, daß kleine Beimischungen den Widerstand des Wassers auffallend verringern, mögen die folgenden Versuche dienen: Destillirtes Wasser mit $\frac{1}{30}$ Proc. Kochsalz ergab den Widerstand 54; dasselbe mit $\frac{1}{30}$ Proc. Salmiak den Widerstand 40. Die Leitungsfähigkeit war also im ersten Fall mehr als das Siebenfache, im zweiten sogar fast das Zehnfache geworden. Ein Gemisch der beiden Salzlösungen in gleichem Verhältniß zeigte den Widerstand 47, also das arithmetische Mittel der Widerstände der Bestandtheile.

Ferner schien es von Interesse, die spec. Widerstände anderer Flüssigkeiten kennen zu lernen. Zu dem Zweck wurden Alkohol, Aether und Schwefelkohlenstoff untersucht. Es ergaben sich die spec. Widerstände:

für Alkohol: 13,000,

für Aether: 40,000.

Noch viel schlechter leitete Schwefelkohlenstoff¹⁾. Nachdem die spec. Widerstände von Alkohol und Wasser ermittelt waren, entstand die Frage, in welcher Weise dieselben durch Zusatz derselben Menge desselben Salzes verkleinert werden würden. Einige der gefundenen Widerstände giebt folgende Tabelle:

Wasser: 390		Alkohol: 13,000		
Wasser	+ $\frac{1}{10}$ Proc. Cd B ₂ :	52	Alkoh. + $\frac{1}{10}$ Proc. Cd B ₂ :	1090
"	+ $\frac{1}{50}$ " Cu Cl ₂ :	30	" + $\frac{1}{100}$ " Cu Cl ₂ :	243
"	+ 5 " Cu Cl ₂ :	1	" + 5 " Cu Cl ₂ :	25

Es scheint daraus hervorzugehen:

- 1) daß jedes Salz in einer Flüssigkeit gelöst, in einer quantitativ ihm eigenthümlichen Weise die Leitungsfähigkeit vermehrt,
- 2) daß das Lösungsmittel selbst noch von bedeutendem Einfluß auf die Leitungsfähigkeit der Lösung ist.

Weitergehende Folgerungen lassen sich aus den wenigen auf diesem Gebiete erforschten Thatsachen noch nicht

1) Vergl. hiermit die Zahlenwerthe Wiedemann, 1872, I, 334, deren Zuverlässigkeit W. mit Recht bezweifelt.

ziehen und es bedarf dazu noch ausführlicherer Untersuchungen. Für dieselben einen neuen Weg anzubahnen, war der Zweck der vorliegenden Arbeit.

VII. *Experimente über die Sichtbarkeit ultravioletter Strahlen;* von *L. Sauer*,

Lehrer an d. Friedrich-Wilhelmsschule in Stettin.

Veranlassung zu den im Folgenden beschriebenen Experimenten gab eine Beobachtung, die ich bei Gelegenheit eines Vortrages über Spectralanalyse in der hiesigen Polytechnischen Gesellschaft machte. Als ich nämlich das Spectrum des Zinks objectiv darstellte, erschien in dem jenseit des Violetten liegenden dunklen Raume eine helle Linie, welche in sehr bemerkenswerther Weise von der gewöhnlichen Farbe des Violett sich unterschied; dabei aber so hell war, daß sie von der ganzen Versammlung gesehen wurde. Bei der Eile, mit der ich damals experimentirte, war es mir unmöglich etwas genaueres als das Auftreten einer Lichtlinie im ultravioletten Theile des Spectrums festzustellen, diese Wahrnehmung veranlaßte mich zunächst nachzusuchen, wo zuerst von Sichtbarkeit ultravioletten Lichtes Erwähnung gethan wird.

Dabei stellte sich heraus, daß nur die Sichtbarkeit der ultravioletten Strahlen im Spectrum des Sonnenlichtes beobachtet worden ist. Wenigstens sagt Helmholtz (Physiologische Optik S. 229), daß über die Sichtbarkeit der brechbarsten Theile des elektrischen Kohlenlichts noch keine Versuche angestellt worden sind, und in den mir zur Verfügung stehenden Zeitschriften, welche seit 1860 erschienen sind, habe ich ebenfalls nichts von derartigen

Versuchen finden können. Helmholtz (Pogg. Ann. Bd. 94, S. 205) gelang es dadurch, daß er das schwache Licht an den Enden des unter gewöhnlichen Umständen sichtbaren Spectrums nach einer besonderen Methode von dem überwiegend helleren der mittleren Theile isolirte, die unmittelbare Sichtbarkeit jenes Lichtes nachzuweisen d. h. zu zeigen, daß es auch ohne das Hülfsmittel fluorescirender Substanzen und ohne seine chemische Wirksamkeit in Betracht zu ziehen vom Auge wahrgenommen wird. Die Farben dieses ultravioletten Lichtes nennt Helmholtz bei geringer Lichtintensität indigblau, bei größerer Intensität bläulich grau, jedenfalls fehlt die im Violetten vorhandene Annäherung an Roth. In einem zweiten Aufsatz Helmholtz' desselben Bandes finde ich die Notiz, daß schon Stokes (*Phil. Transactions* 1852) die ultravioletten Strahlen bis zur Linie *p* gesehen hat und angiebt, daß ihnen die Leuchtkraft der blauen, und das Röthliche der violetten Strahlen abgehe.

Während Helmholtz seine Versuche mit Glas- und Quarzprismen anstellte, benutzte Eisenlohr die Methode, durch Interferenzgitter das Spectrum zu erzeugen. Bei Beschreibung der Methode die Wellenlänge der brechbarsten Strahlen zu bestimmen (Pogg. Ann. Bd. 98, S. 368) erwähnt Eisenlohr einer dahin gehenden Beobachtung. Durch den im Experimentirzimmer herrschenden geringen Grad von Dunkelheit veranlaßt ließ er das Licht durch ein violettes Glas geschwächt auf ein Gitter fallen, welches auf 24^{mm} Länge 1440 parallele Linien enthielt. Die vorher auf Chininpapier bemerkte über das Violett hinausgehende Verlängerung zeigte sich nun von derselben Länge und scharf begränzt mit der größten Deutlichkeit. Ebenso konnte dieselbe sogar auf gewöhnlichem Papier wahrgenommen werden und hatte gleichfalls dieselbe Länge. Mit Curcumapapier konnte bei dieser Abblendung des flüssigen Lichtes nun ebenfalls die Verlängerung erkannt werden; auch erschien der sonst dunkle Raum zwischen dem ersten und zweiten Interferenzspectrum ebenfalls mit sichtbar

gewordenem Lichte ausgefüllt. Dabei bemerkt Eisenlohr, daß er versuchte, das Spectrum auf einem Porcellantäfelchen, wie sie Stokes beschreibt, aufzufangen, und daß er dabei keine Spur einer Verlängerung bemerken konnte. Das Spectrum hörte auf, wo $\lambda = 0,0003956$ bis $0,0004013^{mm}$ ist, während er für das brechbarste Licht die Wellenlänge $= 0,0003527^{mm}$ im Mittel fand.

In den mir zugänglichen physikalischen Journalen habe ich außer den hier erwähnten nur noch einen Aufsatz gefunden, in welchem von der unmittelbaren Sichtbarkeit der ultravioletten Strahlen die Rede ist. M. Skulic in Rakovac (Pogg. Ann. Bd. 146, S. 157) versuchte die Gränze des sichtbaren Theiles des Sonnenspectrums auf der *H*-Seite scharf zu bestimmen und wandte dabei ein Spectroskop mit zwei Flintglasprismen, Collimator und Fernrohr, und directes Sonnenlicht an. Als das Collimatorrohr mit der Linse so gerichtet wurde, daß die Sonne *direct* auf die brechende Fläche des Prismas projecirt wurde, sah er das Licht und die dunklen Linien bis zur *N*-Gruppe. Die *M*-Gruppe erschien so deutlich, daß man noch auf die dritte breite Linie den Faden des Fernrohres mit der größten Sicherheit einstellen konnte. Die *N*-Gruppe dagegen erschien ziemlich verschwommen, nur der lichte Streifen dieser Gruppe konnte noch wahrgenommen werden. Dabei giebt er auch noch Näheres über die Farben an; er nennt sie lichtblau, beinahe silbergrau ohne Spur von einer Röthe. Die Farbe blieb dieselbe, wenn er das Licht durch blaue oder violette Gläser gehen liefs.

Die von mir Eingangs erwähnte Beobachtung liefs zunächst Zweifel entstehen, ob wirklich das Zink die Ursache des starken ultravioletten Lichtes sey, oder ob eine Verunreinigung desselben dabei auch mit in Betracht zu ziehen sey. Um darüber Sicherheit zu erhalten, suchte ich mir daher chemisch reines Zink herzutellen. Aus einer Lösung von käuflichem (sogenannten chemisch reinem) Zinkvitriol wurde erst das darin enthaltene Kadmium vollständig entfernt, die Lösung eingedampft und durch mehrmaliges

Umkrystallisiren gereinigt. Ammoniak ergab keine Reaction auf Eisen, da aber mit Rhodankalium noch eine schwache röthliche Färbung eintrat, so reducirte ich mit Hülfe des galvanischen Stomes das Zink aus der Lösung und löste einen Theil davon in Essigsäure. Da das Zink aus einer Lösung von essigsauerm Zinkoxyd durch Schwefelwasserstoffgas vollständig als Schwefelzink gefällt wird, nicht aber das Eisen aus einer Lösung von essigsauerm Ceroxyd, so enthielt das aus der essigsauen Lösung gefällte Schwefelzink nun kein Eisen mehr, und aus einer Lösung in chemisch reiner Salpetersäure, die mit Rhodankalium nun keine Färbung mehr erkennen liefs, schied ich ebenfalls auf galvanischem Wege das Zink aus.

Dabei bemerkte ich, dafs die nach dem letztgenannten Verfahren vorgenommene Reduction in krystallinischer Hinsicht einen auffallenden Unterschied ergab. Bei der zuerst erwähnten Reduction wurde durch eine Batterie von acht Bunsen'schen Elementen das Zink in deutlichen Krystallen abgeschieden, die in ähnlicher Art, wie die Eisblumen an den Fenstern sich bildend lebhaft an die Gestalt der Schneeflocken erinnern und lange Bänder bildeten, die unter einem Winkel von 60° an verschiedenen Stellen Aeste aussendeten, während bei der zweiten Reduction mit einer Batterie von ebensoviel Elementen das Zink in Gestalt eines feinen Pulvers sich abschied. Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilchen war dabei so gering, dafs beim Herausziehen der Platinelektrode aus der Lösung stets der grösste Theil abfiel. Im ersten Falle dagegen war die Festigkeit der erhaltenen Strahlen so grofs, dafs sie erst durch mehrmaliges Hin- und Herbiegen zerbrochen werden konnten.

Auf ähnliche Weise habe ich mir chemisch reines Kadmium aus einer Lösung reducirt, die aus frisch gefälltem Schwefelkadmium bereitet war. Im Verlaufe der weiter unten beschriebenen Experimente habe ich übrigens gesehen, dafs eine so grofse Genauigkeit durchaus unnöthig war; mit gewöhnlichem granulirten Zink, ebenso mit

dem in Stabform käuflichen habe ich dieselben Resultate erhalten, wie mit dem nach obiger Angabe bereiteten.

Der Apparat, mit dem ich die Versuche anstellte, war nun folgendermaßen zusammengesetzt. In einer hölzernen Laterne war eine achromatische Linse angebracht, durch welche die Strahlen parallel gemacht wurden. Die parallelen Strahlen gingen nun durch den Spalt, der in der Regel die Breite von 0,1 bis 0,2 Millim. nicht überschritt. Mit Hülfe einer Sammellinse von 34^{cm} Brennweite erzeugte ich auf einem weißen Schirm ein deutliches Bild des Spaltes. Leider war die Sammellinse nicht vollkommen achromatisch und aplanatisch, so daß das Bild des Spaltes nicht vollkommen genannt werden konnte. Um so wenig als möglich durch Nebenlicht gestört zu werden, stellte ich sodann das Prisma so weit von der Sammellinse auf, daß der durch letztere gegangene Strahlenkegel vollständig von der vorderen Seite des Prismas aufgefangen und gebrochen wurde. Den größten Theil der Beobachtungen machte ich mit einem Flintglasprisma, das durch seine Größe mir den erwähnten Vortheil gestattet. Bei einem brechenden Winkel von 60° war jede der drei Flächen 51^{mm} hoch und 47^{mm} breit. Die Entfernung des Spaltes vom Prisma betrug in der Regel 130 bis 140 Cm.; hatte ich das Prisma auf das Maximum der Ablenkung eingestellt, so erhielt ich das gewöhnliche Spectrum in einer Länge und Breite von ungefähr 10 Cm. bzw. 3 Cm. Ich wählte diese Dimensionen und Aufstellungen, weil ich so am bequemsten und übersichtlichsten das Spectrum beobachten konnte, obgleich es mit dem oben beschriebenen Apparate leicht gewesen wäre eine weit bedeutendere Größe des Spectrums zu erzielen. Ein Vortheil für die Genauigkeit wäre letzteres ebenfalls gewesen, wie ich mich durch Versuche überzeugte.

Ein großes Hinderniß für längere, genaue Beobachtung war nämlich die Lichtquelle selbst. Bei allen Versuchen benutzte ich elektrisches Licht. Anfänglich erzeugte ich dasselbe mit einer Batterie von 30 Bunsen'schen

Elen
drat
über
Phä
teri
fläch
Met
Lan
die
Lin

spit
ges
sch
che
Paa
ich
Stü
ben

sten
lich
Viol
Viol

gere
nich
Koh
We
zeig
rime
dur
The
fälli
sind
bei
mer

Elementen, wobei in jedem Element nur etwa 400 Quadratcentimeter wirksame Zinkfläche vorhanden waren. Ich überzeugte mich, daß damit das schon einmal gesehene Phänomen nicht auftrat. Später gelang es mir, eine Batterie von 36 Elementen bei doppelt so großer Zinkoberfläche zur Benutzung zu erhalten. Die Verbrennung der Metalle führte ich aus mit Hülfe einer Duboscq'schen Lampe, die sehr gut regulirte und eine lange Zeit hindurch die Kohlenspitzen fast genau im Brennpunkt der ersten Linse hielt.

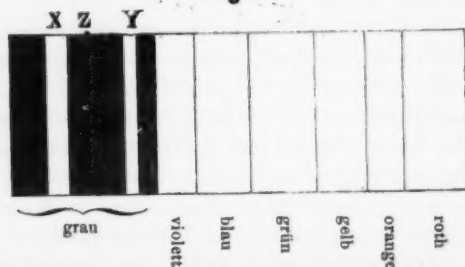
Bei den meisten Versuchen benutzte ich als Kohlenspitzen solche, welche im Handel schon in passender Form geschnitten zu erhalten waren. Um sicher zu gehen schnitt ich mir aber aus einem Stück Retortenkohle, welches ich aus der hiesigen Gasanstalt erhielt, selbst ein Paar Stücken zurecht. Auch bei dieser Vorsicht erhielt ich kein anderes Resultat als mit den anderen handlicheren Stücken und habe deshalb die letzteren dann fast immer benutzt.

Zunächst muß ich nun hervorheben, daß in den meisten Fällen, wo ich das Spectrum des einfachen Kohlenlichtes auf den Schirm entwarf, jenseits der Gränze des Violetten ein heller Streifen sich zeigte, welcher von dem Violetten durch ein dunkles Band getrennt war.

Das Auftreten dieses Streifens beschäftigte mich längere Zeit, zumal da er im Beginne des Experimentirens nicht sofort erschien, wo ich noch nicht vorher gebrauchte Kohlenstückchen zur Erzeugung des Lichtes benutzte. Wenn sich der erwähnte Streifen jenseits des Violetten zeigte (und ich wiederhole, daß er im Verlauf des Experimentirens nicht mehr zu beseitigen war) erschien er durch ein dunkles Band von dem weniger brechbaren Theile des Spectrums deutlich getrennt. Am meisten auffällig war bei ihm seine Farbe. Während wir gewohnt sind, bei Violett an röthliche Farbentöne zu denken, war bei ihm ganz unzweifelhaft von Roth keine Spur zu bemerken. Jene ultravioletten Theile sind, wie oben ange-

geben, wenigstens beim Sonnenspectrum bläulich grau genannt worden. Meiner Meinung nach fehlt aber auch die Näherung an Blau, und ich kann der Farbe nur den Namen eines Blau beilegen; am liebsten möchte ich die von Sekulic' angenommene Bezeichnung silbergrau annehmen, besonders wenn ich die später zu erwähnenden Linien dabei noch mit in Betracht ziehe. Dabei muß ich allerdings erwähnen, daß trotz aller Vorsicht es mir nicht möglich gewesen war, meine Augen in der ganzen Zeit vor dem directen Anblick des elektrischen Kohlenlichtes zu schützen. Aber selbst nachdem der blendende Eindruck des letzteren länger als eine Stunde vorüber war, konnte ich in dem Lichte jenes Streifens keinen Anklang an Blau finden. Um nun den erwähnten hellen Streifen genauer zu beobachten, stellte ich den auffangenden Papierschirm so, daß die ihn erzeugenden Strahlen senkrecht auffallen konnten, was natürlich zur Folge hatte, daß die weniger brechbaren Strahlen schief auffallen mußten und die einzelnen Farben nach dieser Seite eine breitere Fläche beleuchteten. Die Anwendung eines bogenförmigen Schirmes verbot der Umstand, daß sich dann zu den einzelnen Farben diffus von andern Theilen des Schirms reflectirtes Licht mischte. In Folge der beschriebenen Aufstellung erschien deshalb auch in beistehender Zeichnung Fig. 1 das Blau und Violett nicht breiter als die übrigen Farben im Gegensatz zu den sonst üblichen Abbildungen des

Fig. I



Spectrums. Der Einfachheit halber habe ich nur die ungefähre Gränze zwischen den einzelnen Farben durch Linien angedeutet. Der dunkel gezeichnete Theil jenseit des Violett ist, wie man sieht, begränzt durch einen breiten hellen Streifen X; seine Gränzen nach beiden Seiten hin waren jedoch nicht so scharf, wie man es bei den Spectrallinien gewohnt ist, und wie man versucht seyn könnte, aus den beigegeführten Holzschnitt zu schliessen. Ausserdem erschien noch in dem dunklen Bande zwischen Violett und Silbergrau an der Stelle Y, wie es die Figur zeigt, eine helle Linie bei genauer Einstellung der Linse. Zugleich sey hier bemerkt, daß auf der Gränze zwischen Blau und Grün eine helle Linie sich deutlich bemerkbar machte. Diese letztere Beobachtung scheint mir die Erscheinung in Beziehung zu bringen mit einer Beobachtung, die van der Willigen in einer Arbeit über das elektrische Spectrum erwähnt. Er sagt (Pogg. Ann. Bd. 107, S. 475), daß im elektrischen Spectrum von Coaks und Holzkohle noch drei neue Streifen vorkommen. Der Mangel an geeigneten Meßinstrumenten verhinderte mich festzustellen, ob die von mir gesehenen Streifen, vielleicht auch der erwähnte silbergraue, mit den von ihm genauer angegebenen übereinstimmen.

Da es sich hier hauptsächlich um eine Erscheinung im Violetten und Ultravioletten handelte, so lag es nahe, das Licht durch ein Manganglas gehen zu lassen. Der Anblick, der sich mir da bot, scheint mir im Stande zu seyn, bis zu einem gewissen Grade die Erscheinung als eine Contrastwirkung zu erklären. Gleichgültig, ob ich das Manganglas unmittelbar vor den Spalt oder vor das Prisma hielt, erschien das dunkle Band zwischen Violett und Silbergrau nämlich viel kleiner. Es wurden durch das Manganglas alle Farben ausser dem dunkeln Roth und dem Violetten und Silbergrauen ausgelöscht; diese letzteren erschienen aber in derselben vollen Stärke und zwar so, dass eigentlich von einer violetten Farbe gar nicht mehr

die Rede seyn konnte. Dabei war der vorher erwähnte Streif *Y* nach der brechbareren Seite hin so bedeutend verbreitert, daß zwischen ihm und dem unter gewöhnlichen Umständen sichtbaren, breiten grauen Streifen nur ein dunkler Zwischenraum blieb von der Breite dieses grauen Streifens. Die in der Figur zwischen *Y* und *Z* dunkel gezeichnete Stelle war ebenfalls hell und von der erwähnten silbergrauen Farbe. Dieser Unterschied zeigte sich recht deutlich, wenn ich das Manganglas so in den Gang der Lichtstrahlen einschaltete, daß ich beide Spectra über einander erhielt und sie so mit einander vergleichen konnte. Das fast völlige Verschwinden der Farbe im Spectrum, wo wir gewöhnlich Violett sehen, und das Uebergehen in Silbergrau erklärt sich jedenfalls aus der Intensität der angewandten Lichtquelle, wie es ja bekannt ist, daß bei violettem und ultraviolettem Lichte der Farbenton bei veränderter Lichtstärke am veränderlichsten ist. Dabei bleibt aber immer das Auftreten der starken Lichtwirkung bei *X* und *Y* bemerkenswerth. Das Fehlen des Lichtes zwischen *Y* und *Z*, ohne Anwendung des Manganglases, ist aber jedenfalls nur eine Contrastwirkung; wie ja auch der Streifen *Y* nur schwach erschien im Vergleich mit dem viel helleren *X*.

Um zu erreichen, daß der Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen möglichst gross würde, versuchte ich einige Male das Uhrwerk mit der Hand zu arretiren, wobei es natürlich nicht ausbleiben konnte, daß ich zu lange arretirte und das Licht erlosch. In solchem Falle sah ich deutlich, daß die Kohlenspitzen von einer mit schwachem violettem Lichte leuchtenden Flamme umgeben waren, die sich auch noch längere Zeit um die Kohle erhielt, wenn letztere bis zu bedeutenderer Tiefe ins Glühen gekommen war. Bei solcher Gelegenheit bemerkte ich andererseits, wie in dem Augenblicke, wo das Licht erlosch, das Spectrum von einer großen Anzahl scharf begrenzter Linien in allen seinen Theilen durchzogen war. Trotz häufig wiederholter Versuche gelang es mir nicht einmal die Zahl,

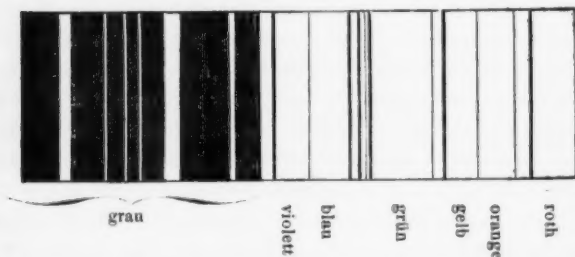
geschweige die Lage dieser Linien zu bestimmen, und ich gab schliesslich den Versuch auf, zumal da diese Erscheinung dem eigentlichen Zweck der Experimente ferner lag. Nur so viel möchte ich bemerken, dass die Zahl der Linien viel grösser war, als die im Calciumspectrum, an das ich bei allen den in Rede stehenden Versuchen am meisten dachte, ohne indess einen Zusammenhang bemerken zu können.

Nachdem ich so das Spectrum mit Hülfe des Flintglasprismas lange Zeit beobachtet hatte, ersetzte ich letzteres durch ein Schwefelkohlenstoffprisma von noch grösseren Dimensionen und ebenfalls einem brechenden Winkel von 60° . Die grössere Dispersion machte sich natürlich auch bei den ultravioletten hellen und dunklen Streifen geltend und liess zunächst die Dunkelheit des zwischen X und Y befindlichen Bandes viel geringer erscheinen. Ebenso war das helle Band X selbst zwar deutlich bemerkbar, doch seine Gränze besonders nach der brechbareren Seite hin viel unsicherer; dagegen erschien das Spectrum auch über dasselbe hinaus noch bedeutend verlängert und zeigte, wenn auch schwach, so doch deutlich die graue Farbe. Um es schärfer zu beobachten, musste ich dem Schirm wieder eine andere Lage geben und sah dann zu meiner Ueberraschung, dass der graue Schein sich noch beinahe ebensoweit erstreckte als der sonst sichtbare Theil des Spectrums Raum einnimmt. Er war nach der dunklen Seite hin scharf begrenzt durch den Schatten des Prismas selbst, so dass die äussersten Strahlen parallel mit der Fläche des Prismas austraten. Dieser letzteren Wahrnehmung gemäss müsste es zweifelhaft erscheinen, ob überhaupt alle Strahlen, die in das Prisma hinein gebrochen wurden, auch im Stande waren, das Prisma zu verlassen, oder ob noch brechbarere vorhanden waren, die durch totale Reflexion zurückgehalten wurden. Nachdem ich so mit dem Schwefelkohlenstoffprisma die bedeutende Verlängerung des Spectrums festgestellt hatte, konnte ich

auch beim Flintglas etwas Aehnliches wahrnehmen, ohne daß es mir jedoch gelang, die Erscheinung so deutlich und in so großer Ausdehnung damit zu Stande zu bringen.

Bei den im Folgenden zu erwähnenden Versuchen benutzte ich wieder der Bequemlichkeit halber das Flintglasprisma. Nachdem ich wie erwähnt festgestellt hatte, daß der helle silbergraue Streif X stets auftrat, verbrannte ich Zink, zunächst das selbst reducirte chemisch reine, dann auch käufliches, wobei ich keinen Unterschied erkennen konnte. Die flüchtig gemachte Eingangs erwähnte Beobachtung bestätigte sich in ausgedehnter Weise. Als die anfänglich benutzte Batterie von 30 kleineren Bunsenschen Elementen nichts erkennen ließ, setzte ich die größere von 36 fast doppelt so großen Elementen in Gang und erhielt damit beim Zink ein Spectrum, das sich besonders durch Lichtstrahlen von größerer Brechbarkeit auszeichnete. Beifolgende Zeichnung Fig. II, welche in ihren Dimensionen der ersten entspricht, giebt ein ungefähres Bild

Fig. II



desselben. Am auffallendsten sind darin drei intensive Streifen im Blau, der erste an der Grenze des Grün, ferner zwei Linien im Violett, deren Farbe geradezu rosa genannt werden kann, endlich jenseits des silbergrauen Streifens drei helle silbergraue Linien und noch weiter ein silbergraues Band. Durch das gleichzeitige Auftreten blauer und violetter Linien war die Möglichkeit gegeben, mir über die

Farbe ein Urtheil zu bilden, und ich kann nur wiederholen, daß weder ein blauer noch ein rother Farbenton bei den ultravioletten Linien zu erkennen war. Noch muß ich erwähnen, daß es einer genauen Einstellung bedarf, um die vier ultravioletten Linien zu erkennen, was bei der Veränderlichkeit der brennenden Kohlenstückchen immer nur auf kurze Zeit zu erreichen war. Auch das durch die Verbrennung entstehende Zinkoxyd, welches sich um die Kohle herum festsetzte, verhinderte ein länger dauerndes Bestehen des Spectrums. Vielleicht ist es deshalb möglich, daß das äußerste noch sichtbare helle Band entweder zu einer Linie zusammenschrumpft, oder, was wahrscheinlicher ist, sich in mehrere Linien zerlegen läßt.

Die beschränkte Zeit, während der die Batterie noch im Gange war, und der Mangel an Kohlenstückchen hinderte mich, die Spectra einer größeren Anzahl Metalle zu untersuchen. Ich fand noch, daß das Spectrum des Zinns ebenfalls jenseits des grauen Streifens X drei helle graue Linien zeigt, die nicht mit denen des Zinks übereinstimmen, aber nicht so weit vom Violetten entfernt waren, als das letzte silbergraue Band im Zinkspectrum, ferner eine Linie im Violet, eine auf der Grenze von Blau und Grün, drei an der Grenze von Grün und Gelb, eine im Gelb, zwei im Orange und zwei im Roth. Bei Antimon erschien dicht neben dem gewöhnlichen grauen Streifen, durch eine schmale dunkle Linie von ihm getrennt, noch eine helle graue Linie. Silber und Magnesium ebenso wie Kadmium zeigten keine grauen Linien.

Schließlich muß ich noch erwähnen, daß ich anfänglich die Hoffnung hatte, statt die unbequeme objective Darstellung des Spectrums vornehmen zu müssen, mit einem gewöhnlichen Spectroskop arbeiten zu können. Ich hatte nun allerdings nur ein kleines aber recht brauchbares Instrument aus der Werkstatt von Desaga zur Verfügung, habe aber bei einer schon früher vorgenommenen Probe gesehen, daß in diesem die erwähnten silbergrauen Linien nicht zu bemerken waren, während die blauen und violetten

in derselben Stärke und Deutlichkeit auftraten. Bei dieser vorläufigen Probe bestand die Batterie aus 50 Grove'schen Elementen, lieferte also jedenfalls einen bei weitem stärkeren Strom. Die Ursache, warum die ultravioletten Theile bei subjectiver Beobachtung nicht auftreten, muß also wohl eine besondere seyn. Vielleicht erklärt sich die ganze Erscheinung doch noch als eine hervorgebracht durch Fluorescenz, und zwar hier durch Fluorescenz des gewöhnlichen weissen Papiers.

Damit würde auch im Einklang stehen, daß mit der Batterie von 30 Elementen das Resultat nicht zu erzielen war, welches sich bei 36 größeren Elementen sofort zeigte. Dass weisses Papier fluorescirt, wie ja fast alle Körper, ist bekannt. Unter gewöhnlichen Umständen wird die Fluorescenz nicht wahrgenommen; intensivere Lichtwirkung könnte aber auch hier ein intensiveres Auftreten der Fluorescenz zur Folge haben. Freilich steht damit nicht im Einklange, daß die sich zeigende Farbe von allen übrigen Farben des Spectrum verschieden ist, während man doch erwarten müßte, daß als Fluorescenzfarbe eine Farbe von größerer Wellenlänge auftreten würde.

Das Auftreten so intensiver Strahlen von großer Brechbarkeit ließ mich annehmen, daß es nicht zu große Schwierigkeiten bieten würde, das Spectrum zu photographiren. Ein solches photographirtes Spectrum würde dann auch ein bequemes Mittel gegeben haben, die Wellenlänge des Lichtes jener silbergrauen Linien zu bestimmen. Ich erzeugte deshalb ein Spectrum mit Hülfe eines Nobert'schen Interferenzgitters (1000 Linien auf 1 Zoll) und es gelang mir auch da das Auftreten der silbergrauen Linien zu constatiren. Weniger glücklich war ich mit der Herstellung einer Photographie und mit der Messung des Abstandes der einzelnen Linien, wie sie Eisenlohr beim Sonnenspectrum ausführte. Die Schuld daran lag besonders an der Lichtquelle. So gut im Uebrigen die angewandte Duboscq'sche Lampe regulirte, war es mir doch nicht möglich, das Spectrum auch nur so lange vollständig ruhig

zu erhalten, als nöthig gewesen wäre, mit dem Zirkel eine Distanz zu messen, geschweige denn genügend sichere Vergleiche für die Abstände der verschiedenen Linien zu erhalten. Nothwendigerweise müssen die Kohlenspitzen doch eine gewisse Dicke haben, um einestheils nicht gar zu schnell zu verbrennen, andernteils genügend Raum zu bieten, die verschiedenen Metalle aufzulegen. Der Umstand, daß die Kohle nun mehr oder weniger mit geringen Theilen anderer Stoffe, vor allem Kieselsäure verunreinigt ist, veranlaßt ein Hin- und Herspringen des Flammenbogens und damit ein Hin- und Hergehen des Spectrums. Bei Anwendung photographischen Papierses hätte die Einwirkung schon beträchtlich lange dauern müssen, um auch nur eine Spur von einem Bilde zu erzeugen, und so lange das Spectrum zu erhalten war mir absolut unmöglich. Möglich wäre es vielleicht gewesen, wenn ich eine empfindliche Collodiumschicht hätte anwenden können, doch ließen es die Umstände, unter denen ich die Experimente anstellte, nicht zu, eine solche anzuwenden; ich mußte mich begnügen, die Resultate qualitativ festzustellen, so weit wie ich es mitgetheilt habe.

VIII. *Ueber die Anziehungszeit und Abreisungszeit der Elektromagnete;*
von H. Schneebeli.

I.

Das unter Ziffer 5 in meinem früheren Aufsatz ausgesprochene Resultat, daß nämlich die Abreisungszeit in demselben Sinne verändert werde, wie die Anziehungszeit, wenn die Stromverzweigung ähnliche Veränderungen erfahre, wurde nachträglich noch experimentell bestätigt.

Um die Abreißungszeit zu messen, d. h. die Zeit, die verfließt von dem Augenblick an, wo der Strom geöffnet und bis der Anker abgerissen wird, resp. auf den Ruhecontact zurückkommt, wurde, anstatt eines einfachen Tasters, wie im vorigen Schema, ein Doppeltaster eingeschaltet. Einer der beiden Arbeitscontacte war mit der Linienbatterie, der andere mit dem Chronoskop in Verbindung. Die andere Aenderung im Schema besteht einzig darin, daß man den Pol der Chronoskopbatterie mit dem *Ruhecontact* des Translators verband anstatt mit dem Arbeitscontact.

Lassen wir im Uebrigen die Bezeichnungen wie wir sie für Anziehungszeit angewendet haben.

Ich führe, um die früher ausgesprochene Ansicht zu erhärten, bloß folgende Reihe an.

$$w_1 + w_2 = 380^{\text{km}}; w_1 = \infty$$

Abreißungszeit.

	Doppelcontacte vertauscht
0,085 Secunden	0,079 Secunden
0,087 "	0,081 "
0,085 "	0,079 "
0,084 "	0,078 "
0,086 "	0,077 "
0,087 "	0,083 "
0,085 "	0,082 "

Mittel: 0,0856 Secunden. Mittel: 0,0800 Secunden.

Die Differenz zwischen den beiden Contacten ist sehr klein, so daß wir die aus denselben entspringende Fehlerquelle vernachlässigen dürfen, da wir bei diesen Controlversuchen bloß einen qualitativen Unterschied zu constatiren haben.

Der Elektromagnet bei derselben Stromstärke das erste Mal direct, das zweite Mal in einer Stromabzweigung, wie für die Anziehung, ergab für die Abreißungszeit folgende Werthe:

Strom direct

Abzweigung

$$w_2 = 101^{\text{km}}; w_1 = 0; w_3 = 40$$

0,096 Sekunden

0,156 Sekunden

0,101 "

0,152 "

0,102 "

0,156 "

0,099 "

0,154 "

0,102 "

1,158 "

0,102 "

0,157 "

0,099 "

0,151 "

0,100 "

0,154 "

0,103 "

0,157 "

Mittel: 0,1001 Sekunden. Mittel: 0,1550 Sekunden.

Wir haben also bei verzweigtem Strome Verzögerungen in der Abreisungszeit ganz ebenso wie wir sie früher für die Anziehungszeit fanden, es ist daher meine früher ausgesprochene Ansicht auch experimentell bestätigt.

II.

Die vorstehenden Versuche erklären auch auf ganz genügende Weise die Abweichungen und irrigen Resultate, die man bei astronomischen Längenbestimmungen erhalten würde, wollte man durch künstlichen Widerstand der Sekundenregistrator und Beobachtungsregistrator durch gleiche Stromintensität schreiben lassen. Ich lasse hier einen Auszug aus den Protokollen der Schweizerischen geodätischen Commission folgen, die bei den Längenbestimmungen zwischen Mailand und Neuchâtel (Zwischenstation Simplon) Resultate erhielt, die durch obige Versuche sich leicht erklären lassen.

„Die Länge der Linie, welche unsere Signale zu durchstreifen hatten, sowie ihre schlechte Isolation, die besonders auf Schweizergebiet sehr viel zu wünschen übrig liefs, hatten zur Folge, daß die Ströme zwischen Neuchâtel und Mailand sehr geschwächt ankamen, so daß sogar im Anfang der Austausch von Zeichen unmöglich war und

zuerst die Drahtrollen des Elektromagnetes unserer Chronographen in Neuchâtel geändert werden mußten.

Der Stromverlust zwischen diesen beiden Stationen stieg in Folge der zahlreichen Ableitungen bis auf 22 und 24°; so daß ein Strom, der mit 35° von Mailand abging, bloß mit 11° in Neuchâtel ankam.

Man weiß aber, daß die Anziehungszeit der Elektromagnete mit der Stromintensität variirt, und da die Ströme, welche zur lokalen Registrirung der Sterne und Secunden dienten, natürlich die normale und constante Intensität hatten, so war zu befürchten, daß die durch diese Stromintensitäten bedingten Parallaxen der Feder, nicht auf die durch die Linien gewechselten Zeichen anwendbar seyen. Wir haben daher auf den 3 Stationen specielle Untersuchungen angestellt, um die Verzögerung der Anziehung des Ankers durch die Stromschwächung zu erhalten, und dadurch die Correctionen zu bekommen, die man den Parallaxen der Feder anzubringen hatte, um sie alle auf dieselbe Stromstärke zurückzuführen.

Für unsere zwei Schweizerstationen haben wir Werthe gefunden, die nie 0,02 Secunden überstiegen, aber unser College in Mailand erhielt Werthe die fünf Mal größer waren und bis zu 0,1 Secunde anstiegen. Die Anbringung dieser Correction hatte dann auch zur Folge, daß die Uebereinstimmungen der 3 Uhren anstatt besser zu werden sich nur verschlimmerten und man sogar für die Größe, die man allgemein *Stromzeit* nennt, zwischen Mailand und Simplon negative Werthe erhielt.“

Aus meinen Versuchen geht hervor, daß sowohl Anziehungszeit wie Abreisungszeit bei gleicher Stromstärke, je nach Stärke und Lage von Ableitungen so sehr verschieden ist, so daß Abweichungen, wie sie in dem vorstehenden Fall zu Tage treten, innerhalb der Gränze der möglichen Verzögerungen auch sehr wohl vorkommen können.

Wie schon früher erwähnt, sind die vorstehenden Versuche mit dem Chronoskop von Hipp ausgeführt worden.

Das C
schen
nern b
ist so
rimente
hier zu

Das
genden
Theilen
1
2
3
Fig
die De

Die
auf die
festver
seiner
gung
vorder
einget
in Bev
gende
den g
Mome
rad ei
seinen
als A
Echap
reichst
dassel
einem
zuführ

Das Chronoskop von Hipp ist in den meisten physikalischen Laboratorien zu treffen, und daher allen Fachmännern bekannt. Indessen die neueste Modification desselben ist so interessant und so wichtig für physikalische Experimente, daß ich nicht umhin kann, mein erstes Exemplar hier zu beschreiben.

III.

Das Chronoskop von Hipp besteht wesentlich aus folgenden drei von einander getrennten und unabhängigen Theilen:

1. Uhrwerk.
2. Zeigerwerk.
3. Elektromagnetischer Einschaltungsapparat.

Figur 4 Tafel XII giebt die Totalansicht; Figur 5 und 6 die Details des Apparates.

1. Uhrwerk.

Die Bewegung des Uhrwerkes wird bewirkt durch ein auf die Trommel *a* wirkendes Gewicht *P*; daß mit dieser festverbundene Rad *b* greift in das Rad *c* ein, welches seinerseits vermittelt des Rades *d* die Welle *e* in Bewegung setzt. Die Welle *e* ist hohl und trägt an ihrem vorderen Ende das Kronrad *f*₁, welches in hundert Theile eingetheilt ist. Die Welle *c* setzt ferner das Steigrad *t* in Bewegung, dessen Geschwindigkeit durch die schwingende Feder *u* regulirt wird. Damit das Uhrwerk rasch den gleichförmigen Gang erhält, giebt die Hemmung *v* im Momente der Auslösung dem Rad *d* und damit dem Steigrad einen Impuls, so daß nach kurzer Zeit das Uhrwerk seinen gleichförmigen Gang erhält. Der andere Hebel dient als Arretirung des Uhrwerkes. Der Regulator oder das Echappement des Werkes gehört unstreitig zu den geistreichsten Erfindungen in der Uhrmacherkunst. Es besteht dasselbe einfach aus einer geraden Feder *u*, welche an einem Ende festgehalten, transversale Schwingungen auszuführen im Stande ist. Durch Veränderungen ihrer

Länge und andern Dimensionen sowie durch einen aufgelegten und regulirbaren Dämpfer gelingt es, sie so abzustimmen, daß sie genau tausend Schwingungen per Secunde vollführt. Dicht vor dem freien Ende der Feder rotirt das Steigrad, so daß die schwingende Feder in die Zähne desselben *eingreift*. Der gleichförmige Gang ist erreicht, sobald während jeder Schwingung der Feder ein Zahn sich vor derselben vorbei bewegt. Will sich das Steigrad schneller bewegen, denn bloß dieser Fall ist zu betrachten, so wird dessen Bewegung durch die Stöße der Feder gegen die vorbeigleitenden Zähne verzögert und auf diese Weise der Gang des Werkes regulirt. Uebrigens überzeugt man sich rasch von dem richtigen Gang, wenn man bloß den Ton der Feder beobachtet.

2. Das Zeigerwerk.

Das ganze Zeigerwerk befindet sich außerhalb des eigentlichen Uhrwerkes. Der Zeiger des obern Zifferblattes vollendet einen Umlauf in $\frac{1}{10}$ Secunde, dasjenige des untern in 10 Secunden. Beide Zifferblätter sind in 100 Theile eingetheilt; es giebt daher der obere 0,001 Secunde, der untere 0,1 Secunde an. Das Zeigerwerk wird durch einen zwischen den beiden Kronrädern f und f' befindlichen Zeiger x mit dem Uhrwerk verbunden. Wie schon erwähnt, ist f' mit der Welle e in fester Verbindung und macht daher mit dem Uhrwerk in 0,1 Secunde einen Umlauf, das andere Kronrad f ist wie das vorige in 100 eingetheilt, ist aber fest an der Platine angebracht. Zwischen beiden befindet sich auf der vom Uhrwerk vollständig unabhängigen Axe g , die durch die hohle Welle e hindurchgeht, der Zeiger x . Je nachdem nun der Zeiger x in das Kronrad f oder f' eingreift, ist das Zeigerwerk ausgeschaltet oder geht mit dem Uhrwerk. Eine einfache Verschiebung der Axe g genügt daher, um das Zeigerwerk mit dem Uhrwerk gehen zu lassen oder dasselbe auszuschalten.

Dieses kann leicht auf rein mechanischem Wege er-

reich
der
Axe
Zeig
gerw
D
ist n
elekt
parat
B
will,
und s
die I
lesen

3
A
den
um d
beide
nach
Anke
rechte
Befin
Elekt
unter
nicht
dem
werk
den I
die A
Kron
Will
so ha
interv

1) Di
sic

reicht werden, indem man den Hebel h gegen das Ende der Axe hin- oder wegbewegt; für gewöhnlich ist die Axe durch eine Feder nach hinten gedrückt, so daß der Zeiger x in das Kronrad f' eingreift, und daher das Zeigerwerk mit dem Uhrwerk verbunden ist.

Die Function, das Zeigerwerk ein- und auszuschalten, ist nun dem dritten Bestandtheil des Chronoskops, dem elektromagnetischen Einschaltungs- und Ausschaltungsapparat überbunden.

Beim Beginn des Ereignisses, dessen Dauer man messen will, wird das Zeigerwerk mit dem Uhrwerk verbunden, und am Ende desselben ausgeschaltet; man kann also direct die Dauer desselben in 0,001 Secunden am Apparat ablesen.

3. Der elektromagnetische Einschaltungsapparat.

An der Rückseite des Gestelles befinden sich die beiden Elektromagnete ¹⁾ m und n und zwischen denselben, um die Axe z drehbar, der Anker y , welcher durch die beiden Federn r und r' mittelst der Handhaben S und S' nach oben oder unten gespannt werden kann. Mit dem Anker ist fest verbunden eine leichte, zum Anker senkrechte Stange h , deren Ende auf die Axe g wirken kann. Befindet sich der Anker in der Mitte zwischen den beiden Elektromagneten oder ist derselbe mit dem Pole des untern in Berührung, so drückt das Ende des Hebels h nicht auf die Axe g , und ist daher der Zeiger x mit dem beweglichen Rad f' in Verbindung, d. h. das Zeigerwerk geht mit dem Uhrwerk. Geht aber der Anker an den Pol des obern Magneten m , so drückt der Hebel h die Axe g nach vorn und der Zeiger x greift in das feste Kronrad f ein und ist daher das Zeigerwerk arretirt. Will man daher mit dem Chronoskop Zeitintervalle messen, so hat man nur dafür zu sorgen, daß während des Zeitintervalles der Zeiger x in f' und vor und nachher in f

1) Die Klemmen der Windungen der beiden Elektromagnete befinden sich auf dem Fußbrett des Gestelles.

eingreift, d. h. *daß während des Ereignisses der Anker unten anliege und vor demselben und nachher oben*. Es versteht sich von selbst, daß man den Versuch erst dann beginnt, wenn das Uhrwerk seinen gleichförmigen Gang angenommen hat.

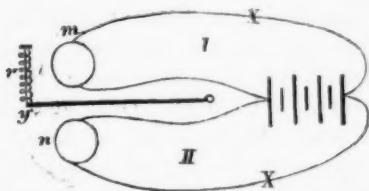
Je nach der Natur des zu messenden Ereignisses erlaubt nun diese neue Modification des Chronoskopes die Verhältnisse zu ändern. Die Fälle, die sich repräsentiren, sind folgende:

1. *Beim Beginn des Ereignisses wird ein Strom geöffnet und am Ende desselben geschlossen*. Es ist dieser Fall der einzige, der mit der frühern Einrichtung des Chronoskops erledigt werden konnte.

Anordnung: Man schalte den obern Magneten in den Stromkreis ein und spanne die Feder r' . Im Moment, wo der Stromkreis geöffnet wird, reißt die Feder den Anker nach unten und das Zeigerwerk wird dadurch mit dem Uhrwerk verbunden. Sobald der Strom wieder geschlossen wird, zieht der obere Magnet den Anker an und das Zeigerwerk ist ausgeschaltet.

2. *Beim Beginn des Ereignisses wird ein Stromkreis geöffnet und am Ende ebenfalls*.

Anordnung: Die beiden Elektromagnete sind nebeneinander eingeschaltet und die obere Feder gespannt; der



Anker ist daher oben. Sobald der Stromkreis I geöffnet wird, geht der Anker nach unten; wird nachher auch der untere Stromkreis unterbrochen, so geht der Anker wieder hinauf und das Chronoskop zeigt die Zeit zwischen den

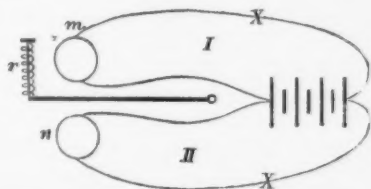
beiden Unterbrechungen an. Es wird dieser Fall besonders für ballistische Zwecke von großer Bedeutung seyn.

3. *Beim Beginn des Ereignisses wird ein Stromkreis geschlossen, am Ende geöffnet.*

Anordnung: In den Stromkreis wird der untere Magnet eingeschaltet und die obere Feder gespannt. Es liegt daher der Anker vor dem Experiment an dem obern Pol an. Sobald der Strom geschlossen wird, zieht der untere Magnet den Anker an, und sobald der Strom aufhört, wird durch die Feder der Anker wieder nach oben geführt und dadurch das Zeigerwerk ausgeschaltet.

4. *Beim Beginn des Ereignisses wird ein Stromkreis geschlossen und am Ende ebenfalls.*

Anordnung: Man schalte die beiden Elektromagnete nebeneinander in den Stromkreis ein und spanne die obere



Feder. Da beide Stromkreise im Anfang unterbrochen sind, liegt der Anker zuerst am obern Pol an. Wird der Strom im Stromkreis II geschlossen, so geht der Anker nach unten. Am Ende wird auch der Stromkreis I geschlossen, dann geht der Strom durch beide Elektromagnete und die Feder reißt den Anker nach oben.

Bemerkungen zu den angeführten Fällen:

Die Dauer des Ereignisses kann man in allen vier Fällen direct am Apparat in Secunden ausgedrückt ablesen. Die Genauigkeit wird durch zwei Fehlerquellen beeinträchtigt, hervorgehend:

1. Aus dem Unterschied zwischen Anziehungszeit der Elektromagnete und Abreißungszeit der Feder.

2. Aus dem Zeitunterschied, der aus der Anordnung der Stromschliessung oder der Stromöffnung entsteht.

Die Construction des Apparats erlaubt indessen die erste Fehlerquelle vollständig durch vorhergehende Versuche (z. B. Fallversuche) mit veränderter Federspannung bei gegebener Stromstärke oder durch Veränderung der Stromstärke durch einzuschaltenden Widerstand wegzubringen. Es ist besonders für den letzten Fall (Stromschluss am Anfang und Stromschluss am Ende) zu bemerken, dass, um günstige Resultate zu erlangen, man in den II. Stromkreis immer einen Widerstand einzuschalten hat.

Die zweite Fehlerquelle so viel als möglich zu vermeiden ist natürlich Sache des Experimentators, indem er die Anordnung so wählt, dass entweder die Fehler im Anfang und am Ende gleich, oder auch unbedeutend klein seyen.

IX. *Zur Construction von Blitzableitern für Telegraphen-Leitungen; von F. Schaack,*

Expedirender Telegraphen-Secretär in Cöln.

Die bei den verschiedenen Telegraphen-Verwaltungen im Gebrauch befindlichen Blitzableiter weichen zwar in ihren Formen von einander ab, das Prinzip ist indessen gleich, ob die Construction auch die der Spitzen, Schneiden oder Platten ist. Der Zweck Aller ist der, dem Blitz einen möglichst bequemen Weg zur Erde darzubieten und dadurch die übrigen Telegraphen-Apparate vor seinen zerstörenden Wirkungen zu schützen.

Das Princip der beiden, vorzugsweise in Anwendung befindlichen Spitzen- und Platten-Blitzableiter ist durch

Fig. 1.

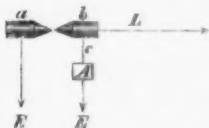
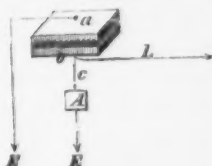


Fig. 2.



die Figuren 1 und 2 dargestellt. Bei Figur 1 bezeichnen *a* und *b* zwei metallene Kegel, deren Spitzen etwa 0^{mm},5 von einander entfernt sind. *c* ist ein Widerstand von feinem Neusilberdraht, der die übrigen Telegraphen-Apparate *A* mit *b* resp. weiterhin mit der Leitung *L* verbindet. *A* und *a* sind mit der Erde verbunden. Tritt von *L* her ein Blitz ein, so soll derselbe den Widerstand *c* abschmelzen und dadurch die Apparate *A* ausschalten und schützen, dagegen an den Spitzen überspringen und über *a* zur Erde gelangen.

In Fig. 2 bezeichnen *a* und *b* zwei sehr nahe übereinanderliegende Platten, welche an den einander zugekehrten Seiten gewöhnlich eine feine Reifelung haben und durch ein zwischen beiden befindliches Blättchen dünnen Papiers von einander isolirt sind. Die Reifelungen beider Platten kreuzen sich rechtwinklig und bilden an den Kreuzungspunkten gleichsam eine Menge Anziehungspunkte für die überspringende Elektricität.

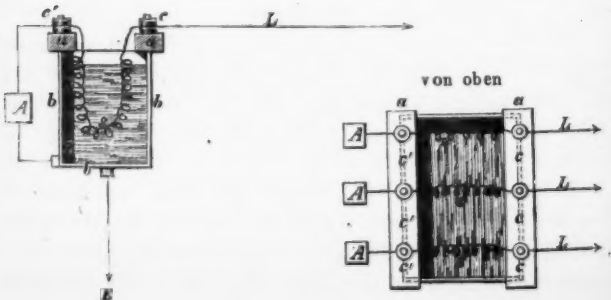
Die Verbindungen entsprechen im Uebrigen denen der Figur 1. Das Princip dieser Blitzableiter ist an und für sich einfach, sobald man dasselbe nur für *eine* Leitung und ohne die sonst erforderlichen Nebendinge betrachtet. Denkt man sich aber einen Blitzableiter für viele Leitungen, mit einer Menge Klemmen zum Einschalten der Leitungen und Apparate, sowie zum Ausschalten bei Gewittern und Störungen, so gewinnt die Sache einen andern Anschein. In der That verursachen die Blitzablei-

ter von allen Telegraphen-Apparaten die meisten Störungen, weil sie theils durch atmosphärische Entladungen, theils durch Zwischenfällen kleiner leitender Körper, oder Losewerden einzelner Verbindungen, Brechen der feinen Drähte, leicht Erdschlüsse oder Ausschaltung der Apparate und Leitungen verursachen.

Die Kosten der Neubeschaffung betragen pro Leitung durchschnittlich 25 Mark, was bei der Menge der Telegraphen-Stationen und der bei ihnen aus- und eingehenden Leitungen ein ganz erhebliches Anlage-Capital erfordert. Da ferner der Blitz beim Ueberschlagen die Spitzen der Kegel usw. abschmilzt und häufig verlöthet, so kann die Herstellung nicht sofort durch den Apparatsbeamten, sondern sie muß unter Aufwand von Reparaturkosten durch den Mechaniker erfolgen.

Die folgende Construction würde allen diesen Uebelständen begegnen und nicht allein ihren Zweck mindestens ebensogut wie jene erfüllen, sondern für 100 Leitungen höchstens ein Anlage-Capital von 10 bis 25 Mark erfordern, keinerlei nennenswerthe Reparaturkosten verursachen und die Beseitigung jeder durch den Blitz verursachten Störung kann sofort durch den Stationsbeamten erfolgen. Die Aufstellung dieses Blitzableiters könnte zweckmäßig bei der Batterie und die Beaufsichtigung durch den Batteriebeamten erfolgen.

Figur 3.



Auf die Langseiten eines etwa 10 Cm. tiefen und breiten Kastens von Weißblech b, b, b , wie derselbe in Fig. 3 im Querschnitt sichtbar ist, sind zwei isolirende Holzschienen a und a befestigt, welche die Verbindungsklemmen c und c' tragen. An c ist die Leitung L geführt, von c' geht die Verbindung durch die übrigen Telegraphenapparate A und diese sind anderseits mit dem Blechkasten und über diesem mit der Erde E verbunden. Die Klemmen c und c' sind verbunden durch eine weit gewundene Spirale s aus feinem Neusilberdraht, deren Seidenbezug einigemal durch eine Kautschuklösung gezogen wurde und einen dünnen aber wasserdichten, isolirenden Ueberzug bildet. Der Blechkasten wird auf etwa drei Viertel seiner Höhe mit Wasser gefüllt und entweder in der Batteriestube direct auf gutleitende Erde gesetzt oder sonst mit der Erde verbunden. Tritt ein Blitzschlag in die Leitung L , so bietet die Spirale mit ihrem dünnen Bezuge demselben eine beinahe directe Verbindung mit dem Wasser resp. der Erde. Die Spirale wird dabei entweder schmelzen oder ihr Ueberzug durchschlagen und ist dann lediglich gegen eine Vorrathsspirale auszuwechseln. Da die Enden der schmelzenden Spirale möglicherweise beide den Blechkasten innerhalb berühren können, so ist es vorzuziehen, die Apparate A nicht direct, sondern wie Fig. 3 zeigt, über den Blechkasten selbst zur Erde zu führen. Im ersteren Falle könnten die Apparate immerhin durch Zweigströme des Blitzes noch in Mitleidenschaft gezogen werden, indem der Blechkasten dann die Klemmen c und c' verbände, im letzteren Falle aber stehen die Apparate nach erfolgtem Abschmelzen der Spirale gänzlich außerhalb des Stromkreises.

Die Länge des Blechkastens wird durch die Anzahl der Leitungen bedingt, zwischen denen ein Zwischenraum von 2 Cm. genügen dürfte.

Es wird eingeräumt, daß die zur Zeit üblichen Blitzableiter eine Zierde unserer Stationen sind und deren Nimbus Nichtkennern gegenüber wesentlich erhöhen, so

daß die hier vorgeschlagene Construction bescheiden dagegen zurücktreten muß; was aber practischen und öconomischen Werth anbelangt, dürfte sie wohl den Vorzug vor Jener beanspruchen.

**X. Ueber die Anwendung der Stimmgabel
in der elektrischen Telegraphie;
von Hrn. Paul La Cour,**

Subdirector des meteorologischen Instituts in Kopenhagen.

(Ann. chem. phys. 1875, T. V, p. 284.)

Bisjetzt hat man sich in der elektrischen Telegraphie damit begnügen müssen, bloß zwei einfache Signale zu erzeugen, entweder durch umgekehrte Ströme oder durch mehr oder weniger verlängerte Dauer des Stroms; das von mir erdachte System erlaubt dagegen, eine große Anzahl einfacher Signale durch einen einzigen Draht hervorzu-
bringen.

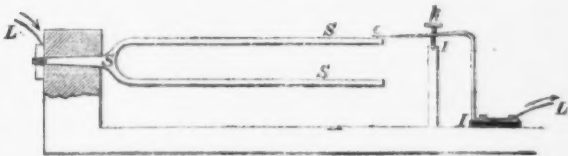
Wenn ein vibrirender Körper bei jeder seiner Vibrationen eine galvanische Kette schließt und öffnet, so begreift man, daß die Pulsationen des Stroms isochron seyn werden mit den Vibrationen des tönenden Körpers, und wenn ein solcher Strom mittelst Elektromagnete auf einen im Unisono mit dem ersteren vibrirenden Körper elektromagnetische Anziehungen ausübt, so wird dieser zweite Körper in Vibration gerathen, während ein anderer Körper, welcher beim Vibriren einen andern Ton giebt, stumm bleibt. Der erste Versuch gelang am 5. Juni 1874; aber es war zu fürchten, daß die Pulsationen des Stroms bei Durchlaufung bedeutender Entfernungen erlöschen würden. Ich machte also einen Versuch auf einer 390 Kilometer langen Telegraphenlinie (von Kopenhagen nach Friedericia,

hin und her); und selbst mit einem schwachen Strom machten sich die Pulsationen leicht bemerklich. Dieser Versuch geschah in der Nacht vom 14. auf den 15. Nov. desselben Jahres.

Als vibrirender Körper, der den intermittirenden Strom erzeugte und die Wirkung aufnahm, wählte ich Stimmgabeln an; die Apparate waren folgendermaßen construiert.

Der Schlüssel oder der den Strom erzeugende Apparat ist in untenstehender Figur abgebildet. *S S S* ist eine an

Figur 1.

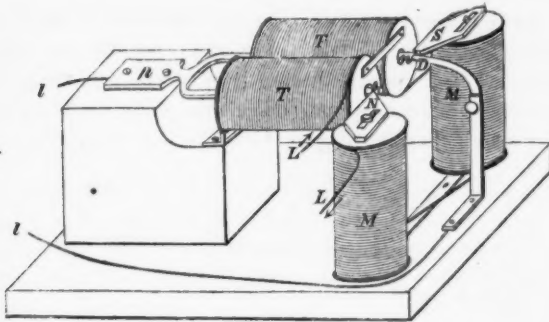


ihrem Stiel so befestigte Stimmgabel, daß bei jeder Vibration eine der Zinken während eines Theils der Vibration mit *c* in Berührung kommt; *c* kann durch eine Schraube *k* adjustirt werden, und ist, wie sein Träger, getrennt von der Stimmgabel durch Isolatoren *JJ*. Ist der Stiel der Stimmgabel in Verbindung gesetzt mit einem Pole einer Volta'schen Säule, deren anderer Pol mit der Erde communicirt, und ist der Contact in Verbindung gebracht mit der Telegraphenlinie und durch sie mit der Erde, so wird ein Schlag auf eine der Zinken der Stimmgabel in der Kette einen Strom erregen, dessen Intermittenzen im Unisono mit der Stimmgabel sind.

Es folgt daraus, daß, wenn man die Stimmgabel in Vibration erhält, man dasselbe Resultat bekommt, sobald man die Drahtleitung an irgend einem Orte schließt. Es folgt auch ebenso, daß wenn man noch einen Contact im Innern der Stimmgabel und für diesen eine besondere Kette anwendet, man die Linie durch aufeinander folgende entgegengesetzte Ströme durchlaufen lassen kann.

Der den intermittirenden Strom aufnehmende Apparat ist in Figur 2 abgebildet; *nps* ist eine Stimmgabel von

Figur 2.



weichem Eisen, welche denselben Ton giebt wie der Schlüssel. Die Zinken stecken in zwei Kupferdrahtrollen *TT*, können aber im Innern derselben frei oscilliren. Der intermittirende Strom durchläuft bei Ankunft an der Station diese beiden Rollen und geht darauf in den Draht eines Elektromagnets *MM*, welcher so gestellt ist, daß seine Pole vor den in der Stimmgabel erzeugten entgegengesetzten Polen stehen. Man sieht also, daß der Strom, indem er den Elektromagnet und die Stimmgabel magnetisirt, eine Anziehung bewirkt, welche die Zinken der letzteren öffnet; sobald aber der Strom und damit die Anziehung aufhört, gehen die Zinken in ihre Gleichgewichtslage über und sofort. Wenn also die Pulsationen des Stromes in Unisono mit der Stimmgabel sind, erlangen die Vibrationen der letzteren bald eine so große Amplitude, daß die Zinke *n* den Contact *D* berührt, was die Schließung einer localen Säule bewirkt, welche durch irgend welche Effecte die Ankunft des Stromes anzeigt, entweder direct oder durch ein Relais.

Freilich kann ich noch nicht die Zeit angeben, welche nöthig ist, um in der empfangenden Stimmgabel Vibrationen

von
Functi
fabri
der
einen
selbst
I
wicht
werd
zuge
I
eine
Einkl
vers
pfan
einf
fach
eine
spric
digk
könn
gen
app
wen
mit
sche
es d
unte
Ruf
Anz
nale
Sig
wer
in
Stro

von einer gewissen Amplitude zu erzeugen. Sie muß eine Function sehr verschiedener Factoren seyn; allein die Erfahrung lehrt, daß die Zeit, welche vor der Schließung der localen Kette verstreicht, ein so kleiner Bruch von einer Secunde ist, daß er sich kaum wahrnehmen läßt, selbst wenn der Strom sehr schwach ist.

In der Hoffnung, daß dieses System dereinst eine wichtige Rolle in der elektrischen Telegraphie spielen werde, erlaube ich mir, die Hauptvorthelle desselben anzugeben.

Der intermittirende Strom bringt nur zum Ansprechen eine Stimmgabel, die mit der als Schlüssel angewandten im Einklang steht. Errichtet man also eine beliebige Anzahl verschiedener Schlüssel und eine gleiche Anzahl von empfangenden Apparaten, so kann man eine gleiche Anzahl einfacher Signale hervorbringen, deren jedes nur eine einfache Bewegung erfordert. Und wenn jedes dieser Signale einem Buchstaben, einer Zahl oder einem Zeichen entspricht, werden die Telegramme mit größerer Geschwindigkeit als bei dem bisherigen System befördert werden können und man wird auf irgend eine Weise die empfangenden Vorrichtungen ohne Schwierigkeit mit einem Druckapparat verbinden können.

Dieselbe Eigenschaft erlaubt, diese Signale da anzuwenden, wo mehre Stationen durch ein einziges Kabel mit einander verbunden sind. Man kann ein Signal zwischen irgend zweien dieser Stationen fortschicken, ohne daß es die anderen wahrnehmen. Das System wird somit auch unter mehreren andern Umständen anwendbar seyn, zum Rufen, Ankündigen, Anzeigen irgend einer Sache, zum Anzünden eines Torpedo usw., kurz überall, wo die Signale nur nach bestimmten Orten befördert werden sollen.

Eine andere wichtige Eigenschaft ist die, *daß mehre Signale gleichzeitig durch einen selben Draht befördert werden können*, denn wenn mehre Schlüssel gleichzeitig in Thätigkeit gesetzt werden, wird der dadurch erzeugte Strom, dessen Intermittenzen gleichzeitig von verschiede-

ner Dauer sind, nur auf die Empfänger wirken, die den vibrirenden Schlüsseln entsprechen, sobald man nur die Stimmgabeln so gewählt hat, daß keine einfachen Harmonien zwischen ihnen vorhanden sind. Wendet man z. B. ein System von 10 Stimmgabeln an, so kann man 10 einfache Signale erzeugen, dann $\frac{10.9}{1.2} = 45$ paarweise combinirte Signale, ohne daß die letzteren mehr Zeit als die ersteren erfordern. Auf welche Zahl von gleichzeitig vibrirenden Stimmgabeln ist man genöthigt sich zu beschränken? Diese Frage kann nur durch Erfahrung beantwortet werden.

Dieselbe Eigenschaft erlaubt mehrere Telegramme durch einen einzigen Verbindungsdraht gleichzeitig von einer Station nach verschiedenen andern Stationen zu befördern. Es sey z. B. die Station *A* durch einen Draht verbunden mit der Station *B*, von wo er sich bis zur Station *C* fortsetzt. Man kann dann auf der Station *A* zwei verschiedene Systeme von Schlüsseln anwenden, eins für die Correspondenz mit *B*, und eins für die mit *C*. Die Empfänger an beiden Stationen müssen natürlich den Schlüsseln entsprechen.

Dieselbe Eigenschaft gestattet auch die Anwendung dieses Systems für Pantelegraphen, sicherer und rascher, als die von den HH. Bain, Caselli und Anderen construirten. Bisher hat man bei diesen Telegraphen nur einen einzigen Stift angewandt, welcher die Telegramme der Länge und Breite nach durchlaufen muß, um die Punkte des Telegramms zu markiren; bei dem neuen System kann man aber so viel Stifte wie man will anwenden und so das Telegramm in einer einzigen Richtung auf dem so gebildeten Kamm durchlaufen lassen. Durch diese Methode hat man überdiß den Vortheil, daß man nicht mehr zwei genau gleiche Geschwindigkeiten gebraucht, denn der einzige Nachtheil einer Ungleichheit der Geschwindigkeiten des Originals und der Copie besteht in einer unbeträchtlichen Ausdehnung oder Zusammenziehung.

Er
Eigen
corü
wofer
schen
sem n
nen n

XI

Dr.
mit ei
talle b
ßen g
darzu
benen
auch
der al
gesch
Isolir
bisher
einige
fahren
zweck

Di
gesch
einem
cylind
der G
einen

Endlich haben die Empfänger noch die vortreffliche Eigenschaft, *dass sie die gewöhnlichen elektrischen Ströme vorüber gehen lassen, ohne das Daseyn derselben anzuzeigen*, wofern sie nicht sehr stark sind, so dass die atmosphärischen und terrestrischen Ströme den Dienst der nach diesem neuen System construirten Telegraphen im Allgemeinen nicht stören.

XI. *Elektrolytische Abscheidung des Cers, Lanthans und Didyms.*

(Mitgetheilt von Hrn. Prof. R. Bunsen.)

Dr. Hillebrand und Dr. Norton, welche sich bei mir mit einer Untersuchung über die im Cerit enthaltenen Metalle beschäftigten, ist es gelungen, diese Elemente in grossen gediegenen Metallkugeln von 4 bis 6 Gramm Gewicht darzustellen. Sie haben sich dabei der von mir angegebenen elektrolytischen Methode bedient, nach welcher auch Dr. Matthiessen vor längerer Zeit die Elemente der alkalischen Erden zuerst in meinem Laboratorium abgeschieden hat. Da diese Methode sich gleich gut zur Isolirung der übrigen in grösseren geschmolzenen Massen bisher noch nicht abscheidbaren Metalle eignet, so mögen einige Bemerkungen über das dabei zu beobachtende Verfahren, wie es sich bei wiederholter Anwendung als das zweckmässigste erwiesen hat, hier Platz finden:

Die Zersetzungszelle, in welcher die Elektrolyse der geschmolzenen Chloride vorgenommen wird, ist ähnlich einem Grove'schen Elemente angeordnet. Das den Zinkcylinder und die Schwefelsäure enthaltende äussere Gefäss der Grove'schen Kette ist in dieser Zersetzungszelle durch einen gewöhnlichen gegen 100 Cubikcent. Flüssigkeit fas-

senden, mit einem geschmolzenen Gemisch von gleichen Aequivalenten Chlornatrium und Chlorkalium angefüllten Hessischen Schmelztiegel ersetzt, in welchem sich statt des Zinkcylinders ein als positive Elektrode dienender Cylinder von dünnem Eisenblech befindet; derselbe ist 5 Centim. hoch, hat 2,5 Centim. im Lichten und läuft in einen nicht angelötheten oder angenieteten als Stromleiter dienenden Streifen aus. Von dem Cylinder wird eine 9 Centim. hohe, 2 bis 2,6 Centim. weite Thonzelle bester Qualität umschlossen, in welcher sich das zu zersetzende Chlorid befindet. Die in dasselbe bis zu $\frac{2}{3}$ Tiefen eintauchende negative Elektrode wird durch einen dickeren Eisendraht hergestellt, an dessen etwas dünn gefeiltem Ende ein etwa 15 Millim. langer, pferdehaardicker Eisendraht leitend durch Umwicklung befestigt ist. Man steckt einen Thonpfeifen-Stiel so weit über den dickeren Draht, daß nur der an dem letzteren befindliche feine Eisendraht¹⁾ aus dem Pfeifenstiel hervorragt und mit dem geschmolzenen zu reducirenden Chlorid in Berührung kommt.

Handelt es sich um die Reduction von Chloriden, welche durch Wasserdämpfe leicht in Oxyde übergehen, so darf die Schmelzung niemals mittelst einer Gasflamme bewerkstelligt werden; aber auch zur Erhitzung weniger zersetzbarer Chloride sind Gasflammen besser zu vermeiden, da der in diesen enthaltene Wasserdampf eine Oxydation der bereits reducirten Metalle leicht wieder herbeiführen kann. Man darf daher bei den Schmelzungen in der Zersetzungszelle keine andere als schon völlig glühende, keine Wasserdämpfe mehr ausgebende Kohlen verwenden. Aus demselben Grunde glüht man auch vorgängig die für den Versuch bestimmten, mit Salmiak gemischten, zuvor auf das schärfste getrockneten Chloride so lange in einem Platintiegel, bis der größte Theil des Salmiaks verflüchtigt ist und bewahrt die Masse gegen Feuchtig-

1) Ein 1 Centim. langes Stück dieses Eisendrahtes wiegt ungefähr 4 Milligramm.

keit
fsend
suche
zelle
Thon
setzte
dem
setzen
D
Metal
bei w
flosse
Schm
scheide
an de
Boden
Koste
der K
so re
fest b
aber
befind
in der
tiger
Kugel
fenhei
durch
reduc
Inhalt
Metal
A
Reduc
des a
Elemen
Thonz
peters

keit auf das sorgfältigste geschützt in einem gut schließenden Gefäße zum Gebrauche auf. Wenn bei dem Versuche selbst die Chlorverbindungen in der Zersetzungs- zelle zum Schmelzen gebracht werden, ist der Inhalt der Thonzelle mit einer Schicht zuvor der Glühhitze aus- gesetzten Salmiakpulvers zu bedecken und dieses Salz in dem Maasse, wie es verdampft, durch Nachfüllen zu er- setzen.

Die Ausbeute an Metall und die Größe des erhaltenen Metallregulus hängt wesentlich von der Temperatur ab, bei welcher die geschmolzenen Chloride vom Strome durch- flossen werden: hat die Thonzelle eine erheblich über dem Schmelzpunkt des zu zersetzenden Salzes und des abzu- scheidenden Metalls liegende Temperatur, so fallen die an der negativen Elektrode gebildeten Metalltropfen zu Boden und oxydiren sich dann gewöhnlich wieder auf Kosten der Kieselerde in die Thonzelle. Das Zulegen der Kohlen und das Nachfüllen des Salmiaks wird daher so regulirt, daß der obere Theil des Thonzelleninhalts fest bleibt, der untere die negative Elektrode umgebende aber sich in einem halbgeschmolzenen breiigen Zustande befindet. Der Metalltropfen vergrößert sich dann, ohne in der teigigen Masse niederzusinken und kann bei rich- tiger Leitung des Versuchs bis zu einer haselnußgroßen Kugel anwachsen. Erst wenn man die richtige Beschaf- fenheit der Schmelzung getroffen hat, darf die Zersetzung durch den Strom begonnen werden, weil sich sonst das reducirte Metall leicht in Pulverform abscheidet und dem Inhalt der Thonzelle beimengt, was die Bildung größerer Metallkugeln verhindert.

Außer von der Temperatur hängt der Erfolg solcher Reductionen noch wesentlich von der absoluten Intensität des angewandten Stromes ab. Vier größere Kohlen-Zink- Elemente reichen zu den Versuchen vollkommen aus. Die Thonzellen dieser Elemente enthalten 250 Cubikcent. Sal- petersäure; die Kohlenstäbe sind 21 Cent. lang, 2,5 Cent.

breit und 4,5 Cent. dick und die wirksame der Thonzelle zugekehrte Zinkfläche beträgt 590 Quadratcent. Bei verschwindend kleinem Leitungswiderstande im Schließungsbogen erreicht diese Kette eine absolute Stromintensität von 340 B. A. Nach Einschaltung der glühenden Zersetzungszelle schwankt die Stromstärke während der Reduction um ungefähr 90. Die von Hrn. Hillebrand und Norton angestellten Strombeobachtungen der folgenden Tabelle geben einen Einblick in den Verlauf der Elektrolyse des Cerchlorürs, aus welchem sich die Vorgänge bei solchen Reductionen von Anfang bis zu Ende übersehen lassen. Col. I enthält die Beobachtungszeiten in Minuten, Col. II die zu diesen Zeiten angestellten Winkelablesungen an der Tangentenboussole, Col. III die aus diesen Winkeln nach der Formel

$$\frac{RT}{2\pi} \operatorname{tg} \varphi = J$$

berechneten absoluten Stromintensitäten. Der Radius des Boussoletringes R betrug 115 Millim.; die kurz vorher am Orte der Beobachtungen von mir bestimmte horizontale Componente des Erdmagnetismus T war 1,939.

I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
t	φ	J	t	φ	J	t	φ	J	t	φ	J
0	45°	35,49	23	65°	76,10	46	69°	92,45	69	69°	92,45
1	40	29,78	24	66	79,71	47	70	97,50	70	69	92,45
2	32	22,17	25	66	79,71	48	69	92,45	71	67	83,62
3	46	36,76	26	66	79,71	49	69	92,45	72	66	79,71
4	36	25,78	27	65	76,10	50	68	87,48	73	64	69,65
5	40	29,78	28	67	83,62	51	68	87,48	74	65	76,10
6	40	29,78	29	67	83,62	52	68	87,48	75	69	92,45
7	49	40,83	30	67	83,62	53	69	92,45	76	71	103,0
8	48	39,42	31	67	83,62	54	69	92,45	77	71	103,0
9	41	30,85	32	68	87,84	55	70	97,50	78	66	79,71
10	43	33,10	33	69	92,45	56	69	92,45	79	55	50,69
11	44	34,27	34	69	92,45	57	69	92,45	80	45	35,49
12	45	35,49	35	68	87,84	58	68	87,48	81	40	29,78
13	45	35,49	36	68	87,84	59	67	83,62	82	30	20,48
14	50	42,30	37	68	87,84	60	67	83,62	83	15	9,51
15	55	50,69	38	68	87,84	61	68	87,84	84	10	6,25
16	57	54,66	39	67	83,62	62	68	87,84	85	6	3,73
17	60	61,48	40	68	87,84	63	69	92,45	86	5	3,11
18	64	69,65	41	69	92,45	64	69	92,45	87	3	1,86
19	62	66,74	42	69	92,45	65	69	92,45	88	2	1,24
20	64	69,65	43	69	92,45	66	69	92,45	89	1	0,62
21	64	69,65	44	69	92,45	67	67	83,62	90	0	0
22	65	76,10	45	69	92,45	68	68	87,84			

Man sieht aus diesen Zahlen, daß die absolute Intensität des Stromes in dem Maafse, wie die aus abgeschiedenem Cermetall bestehende negative Elektrode größer wurde, in Folge des sich vermindernenden Leitungswiderstandes allmählig von ungefähr 30 auf 103 anstieg und gegen 14 Minuten gebrauchte, um von diesem Maximum, wo die Kohlen entfernt wurden und der Inhalt der Zersetzungs- zelle erstarrte, auf 0 herabzusinken. Die Stromschwankungen, welche die Beobachtungen aufweisen, habe ihren Grund in den Temperaturveränderungen, die durch das Nachfällen von Chlorammonium in der Thonzelle herbeigeführt werden. Von der 28^{ten} Minute an, wo die Erhitzung und der Salmiakzusatz möglichst gleichförmig unterhalten wurde, schwankte die Nadel während der langen Dauer von 43 Minuten nur um drei Grad.

Es ist nicht uninteressant die wirklich erhaltene Ausbeute an Cer mit derjenigen zu vergleichen, welche dem bei der Zersetzung verbrauchten Elektrizitätsquantum entspricht: Bezeichnet man das gleichbleibende Zeitintervall zwischen zwei Beobachtungen, in Secunden ausgedrückt, mit Δ , das elektrochemische Aequivalent des Cers mit $c = 0,04783$ und die in absolutem Maafse ausgedrückten Stromintensitäten der nach dem Zeitintervalle Δ aufeinander folgenden Beobachtungen mit J_0, J_1, J_2, \dots , so erhält man das in Milligrammen ausgedrückte Gewicht Cermetall C , welches der Strom abschied, aus der Gleichung

$$C = c\Delta \left\{ \frac{J_0 + J_1}{2} + \frac{J_1 + J_2}{2} + \frac{J_2 + J_3}{2} + \dots \right\}$$

Mit Zugrundelegung der in der Tabelle gegebenen Werthe findet man, daß 17,38 Gramm des Metalls abgeschieden werden mußten. Wirklich erhalten wurden

als großer Metallregulus	6,4 Gramm.
in kleineren Kugeln	1,8 „
als feines Melallpulver	3,1 „
demnach im Ganzen	11,3 „

also fast genau $\frac{2}{3}$ der theoretisch möglichen Menge; ein Drittel des reducirten Metalls ging daher durch Oxydation

wied
Met
Men
rech
säur
Eige
dym
an 4
stell
mitt

XII.
ni

W
und
Span
nur
dure
Con
tive
Ich
der
doch
nich
zöge
nung
Idee
Elen

wieder verloren. Das in der Schmelze fein eingesprengte Metallpulver läßt sich nicht mechanisch trennen; die Menge desselben wurde aus dem Wasserstoffvolumen berechnet, welches die Masse beim Uebergießen mit Salzsäure entwickelte.

Ueber das chemische Verhalten und die physikalischen Eigenschaften des metallischen Cers, Lanthans und Didyms, von welchen Dr. Hillebrand und Dr. Norton an 40 Gramm in großen geschmolzenen Stücken dargestellt haben, werden dieselben demnächst das Nähere mittheilen.

Heidelberg, den 29. Juli 1875.

XII. Ueber die Umwandlung elektrischer Ströme niederer Spannung in disruptive Entladungen höherer Spannung; von W. Holtz.

Wie man mit Hülfe der Poggendorff'schen Wippe und eine Anzahl Voltameter elektrische Ströme niederer Spannung in solche von höherer Spannung, wenn auch nur von kurzer Dauer, verwandeln kann, so glaubte ich durch einfache Vertauschung der Voltameterplatten in Condensatorplatten, Ströme niederer Spannung in disruptive Entladungen höherer Spannung umsetzen zu können. Ich hoffte auf diese Weise einen Apparat zu gewinnen, der in seinen Wirkungen dem Inductionsapparat ähnlich, doch zugleich den Vortheil böte, daß seine Entladungen nicht, wie bei jenem, durch eine lange Spirale eine Verzögerung zu erleiden hätten. Obwohl sich nun diese Hoffnung bisher in keiner Weise bewährte, da der nach obiger Idee construirte Apparat bei Anwendung galvanischer Elemente überhaupt wirkungslos blieb, so hat sich doch

die Benutzung einer andern Elektrizitätsquelle, die Idee selbst als eine richtige erwiesen, und dies veranlaßt mich darüber schon jetzt eine Mittheilung zu machen.

In einem Kasten aus Holz waren 24 Platten aus Zinkblech, jede von nahe einem Quadratfuß Fläche, parallel, zwischen ringsum vertheilten Stützen aus Hartgummi, befestigt und zwar so, daß immer je zwei eng aneinander, aber durch eine dünne Schicht von sogenanntem Guttaperchapapier getrennt, einen Condensator oder eine Franklin'sche Tafel bildeten. Von jeder Zinkplatte führte ein Draht nach der sogenannten Wippe, welche hinreichend isolirt oberhalb des Kastens und eine etwas veränderte Construction der Müller'schen Form war, in der bekanntlich die Quecksilbercontacts der Poggendorff'schen Wippe durch schleifende Federn ersetzt sind. Zwei Streifen aus sehr dickem Messingblech waren nämlich an je einer Seite in 12 genau gleichen Intervallen eingefräst oder gezahnt und hierauf durch eine Hartgummibefestigung in einen solchen Winkel zu einander gebracht, daß die Zähne des einen zwischen den Zähnen des andern lagen, ohne dieselben jedoch zu berühren. Dies System war drehbar um zwei feste, isolirte Metallspitzen, von denen zugleich die eine mit dem einen, die andere mit dem andern Messingstreifen in leitender Verbindung stand. Ferner waren 24 Messingfedern, die Fortsetzungen jener zu den Zinkplatten führenden Drähte, so befestigt, daß bei einer gewissen Stellung des Systems jede einen der 24 Zähne berührte, so daß also, wenn man die beiden festen Metallspitzen mit den Polen einer Elektrizitätsquelle verband, sämmtliche 12 Plattenpaare nach Art Franklin'scher Tafeln geladen werden mußten. Bei einer andern Stellung fanden nun dieselben Federn 11 gleichfalls isolirte Metallstücke vor, so groß und zugleich derartig vertheilt, daß die beiden äußersten Federn von jeder Berührung ausgeschlossen, von den andern aber immer je zwei aufeinander folgende durch ein solches Metallstück in leitende Verbindung traten. Hierdurch fand natürlich eine theilweise Ausglei-

chung und anderweitige Vertheilung der auf den Condensatorflächen angehäuften Elektricitäten statt, indem zugleich, dem Vorgang in der galvanischen Säule ähnlich, die Spannung nach den Enden hin wachsen mußte. In Folge dessen mußte denn auch zwischen den beiden äußersten Zinkplatten, d. h. also der 1^{sten} und der 24^{ten}, welche dauernd mit einem kleinen Funkenmesser in Verbindung standen, eine Entladung auf weit größere Entfernung erfolgen, als dies bei derjenigen Spannung, bis zu welcher die Platten ursprünglich geladen wurden, möglich war.

Dafs der Apparat, wie bemerkt, bei Anwendung galvanischer Elemente ohne Wirkung blieb, schreibe ich außerdem, dafs die Platten voraussichtlich viel zu klein gewählt waren, namentlich dem Umstande zu, dafs ich denselben wegen ungünstiger Wahl des Materials keine gleichmäfsige und genügende Annäherung geben konnte. Auch hat es bei der grofsen Anzahl von Federn und sonstigen Berührungspunkten wohl an hinreichendem metallischem Contacte gefehlt, weshalb ich es auch bedaure, nicht lieber den sicheren Quecksilbercontact der Poggenдорff'schen Wippe vorgezogen zu haben. Um nun gleichwohl die Richtigkeit der Idee wenigstens für Ströme höherer Spannung zu prüfen, nahm ich meine Zuflucht zu einer Influenzmaschine, deren Entladungsstangen ich nach Entfernung der Kugelelektroden so nahe brachte, dafs sich die Spitzen fast berührten, wodurch dieselbe gewissermaßen eine Elektricitätsquelle von sehr geringer Spannung repräsentirte. Nachdem nun die Entladungsstangen gleichzeitig durch Drähte mit der Wippe in Verbindung gesetzt, und die Maschine in Thätigkeit war, erfolgten bei der ersten Stellung des Systems nach je 5 bis 6 Umdrehungen der Kurbel Entladungen zwischen den Entladungsstangen; wechselte man aber nach je 4 Umdrehungen plötzlich die Stellung, so erschien nunmehr im Funkenmesser des Apparats ein Funke, vorausgesetzt, dafs die gleichfalls ein wenig zugespitzten Elektroden

nicht über 5^{mm} von einander abstanden, was etwa die zehnfache Entfernung der Entladungsstangen war. Eine größere Entfernung der letzteren gestattete übrigens der Apparat schon deshalb nicht, weil andernfalls eine Selbstentladung der Platten durch die Guttaperchaschicht erfolgte, woraus ersichtlich, daß ein solcher Apparat, wenn für höhere Spannung brauchbar, eine wesentlich verschiedene Construction erhalten müßte, da nicht nur in der Wippe, wie an den Platten elektrische Ausströmungen zu vermeiden wären, sondern auch die isolirende Schicht zwischen jenen einen größeren Widerstand bieten müßte, weshalb die Platten wohl am besten durch dünnwandige Leydener Flaschen ersetzt würden.

Im Uebrigen ist klar, daß die disruptiven Entladungen eines solchen Apparats niemals die ganze auf den beiden Endplatten angehäuften Elektrizitätsmenge umfassen können und zwar um so weniger, je dicker die Isolirschicht und je größer die Anzahl der Plattenpaare ist, ein Umstand, der so erhebliche Verluste zur Folge hat, daß er, auch bei viel günstigeren Resultaten, als die vorliegenden, die Brauchbarkeit des Apparats als eines Funkengebers in Frage stellt. Andererseits wäre wohl möglich, daß sich nach demselben Princip bei sehr exacter mechanischer Ausführung eine Art von Elektroskop gewinnen ließe, um schwache elektrische Bewegungen von einer gewissen Dauer durch den Ausschlag eines Goldblättchens sichtbar zu machen.



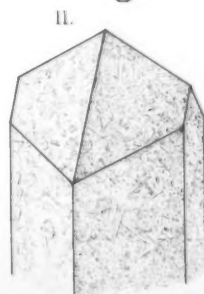
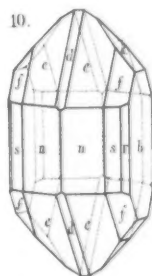
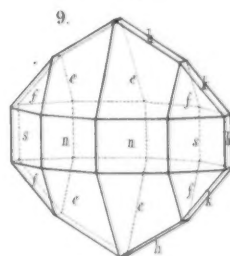
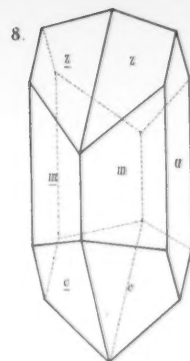
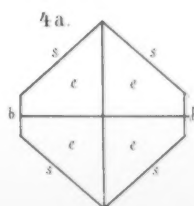
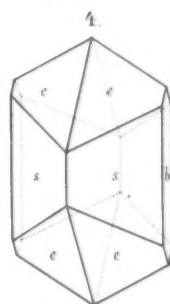
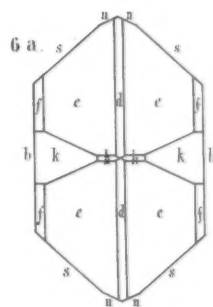
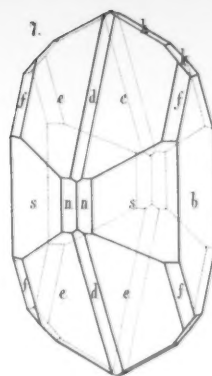
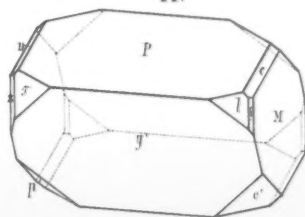
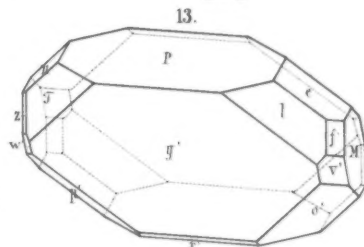
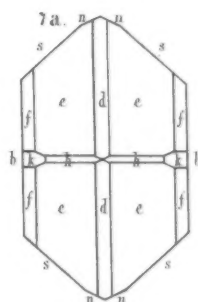
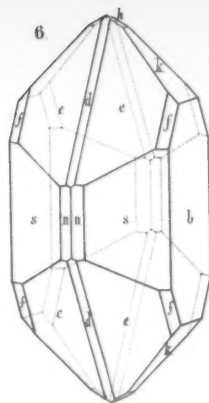
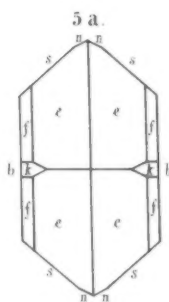
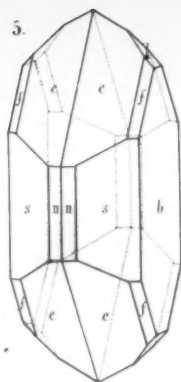
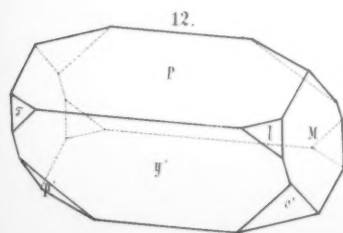
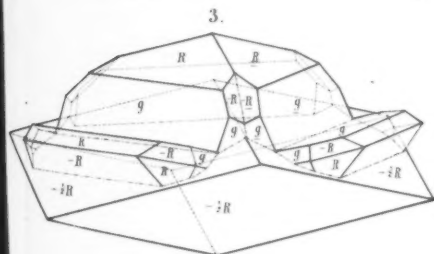
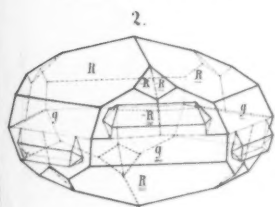
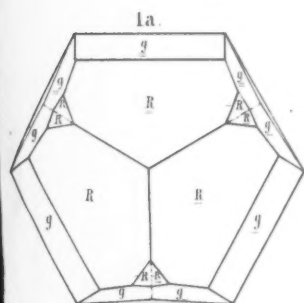
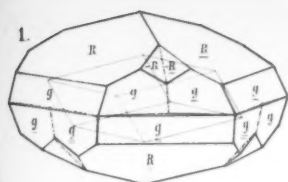
X
In B
gend
bene
logie
tung
gleich
der D
in der
gege
lösung
dem
durch
U
schau
gen,
war,
sich
veren
mit z
und z
einen
ters d
Schlie
nung
nach
dere
hier
mal i
darin

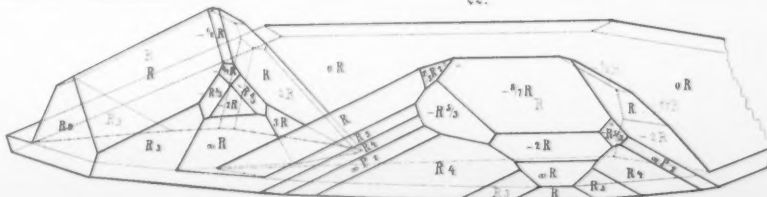
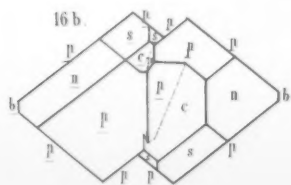
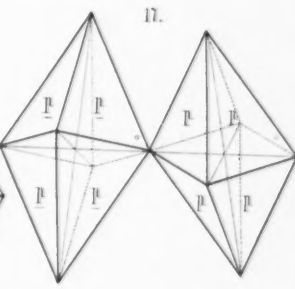
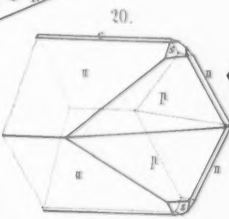
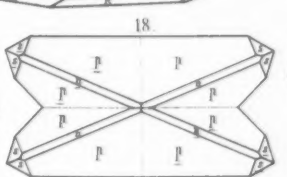
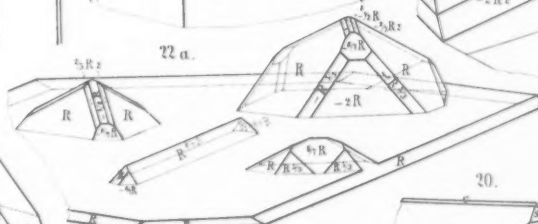
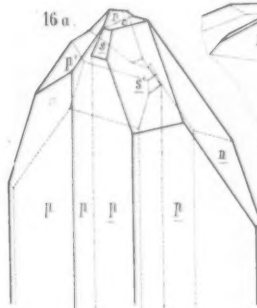
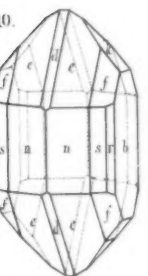
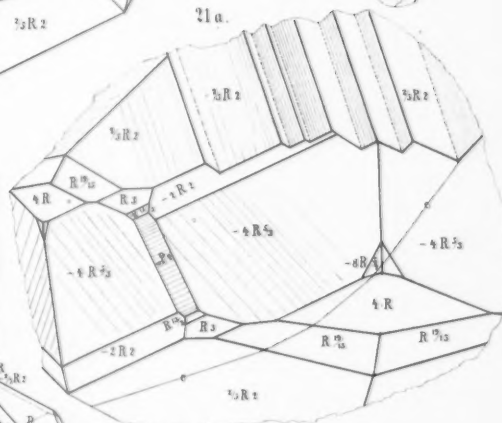
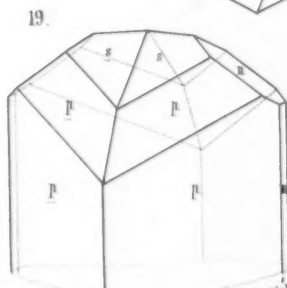
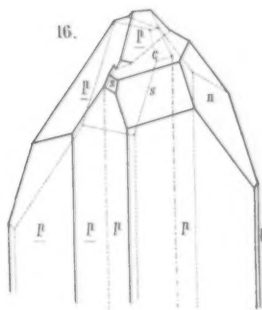
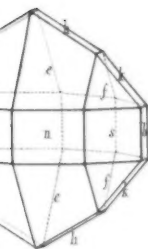
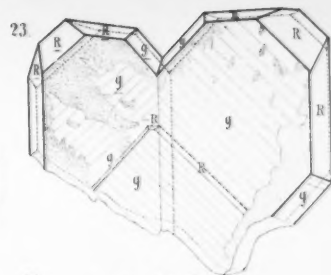
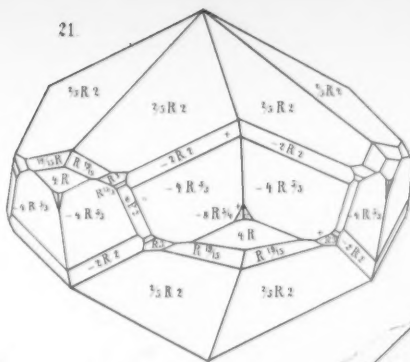
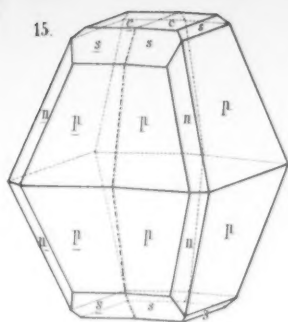
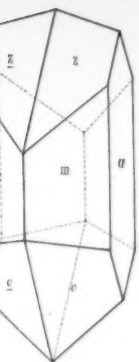
XIII. *Nachträgliche Notiz über eine neue elektrische Röhre; von W. Holtz.*

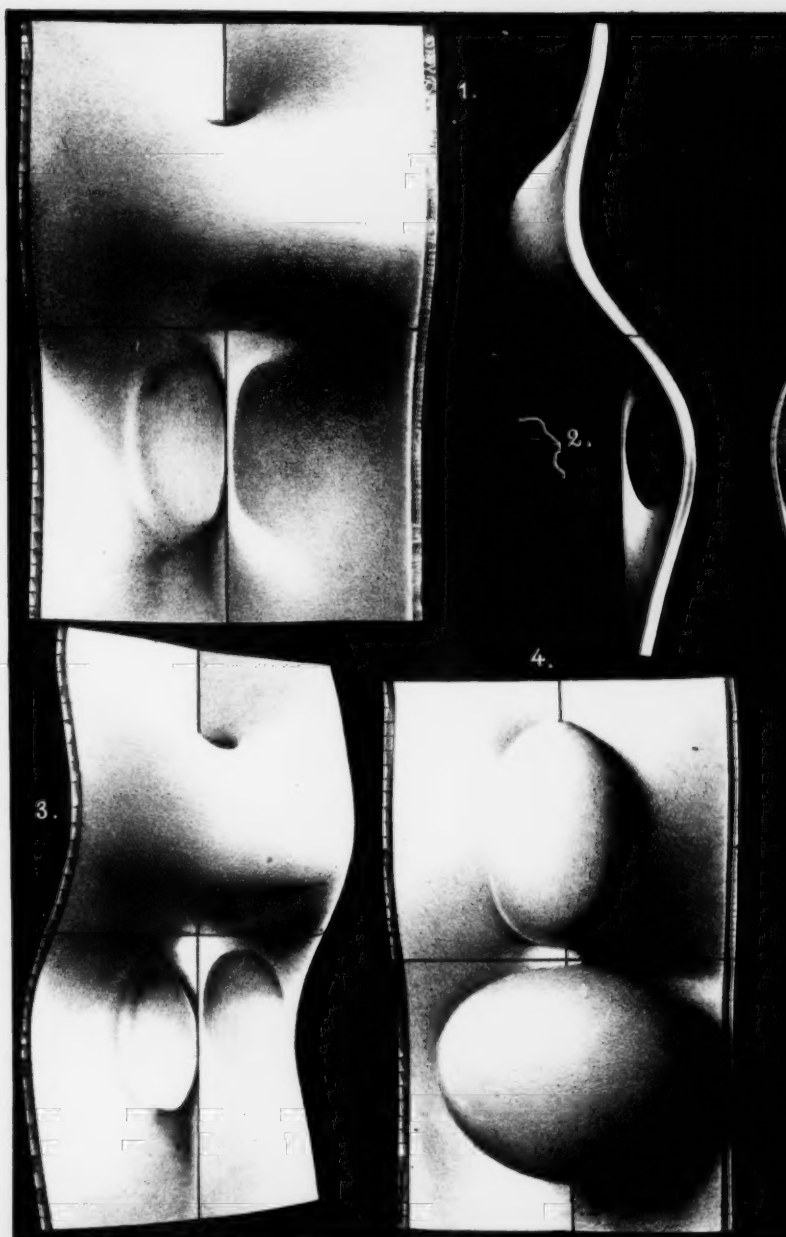
In Band CXXXIV dieser Annalen war Hr. Prof. Pogendorff so freundlich, über eine neue von mir angegebene elektrische Röhre zu berichten, welche, eine Analogie des Gaugain'schen Ventils, eine derartige Einrichtung hätte, daß die elektrische Strömung eine Reihe gleichgerichteter Trichter passiren mußte, in Folge dessen der Durchgang in der einen Richtung leichter erfolgte, als in der andern, und wenn zwei solcher Röhren mit entgegengesetzt gerichteten Trichtern gleichzeitig in den Schließungsbogen eingeschaltet wurden, der Strom, je nach dem Wechsel der Pole, bald die eine, bald die andere durchlief.

Um diesen Versuch nun in bequemerer Form zur Anschauung zu bringen, ließ ich später eine Röhre anfertigen, welche in der Mitte mit einer Scheidewand versehen war, die zwei etwas größere Oeffnungen hatte, welche sich nach entgegengesetzten Seiten hin zu einem Trichter verengten. Eine andere Röhre ließ ich nahe den Enden mit zwei ebenso ausgerüsteten Scheidewänden versehen und zwar in der Weise, daß allemal ein Trichter der einen in der Verlängerung des gleichgerichteten Trichters der andern lag. Jede dieser Röhren, für sich in den Schließungsbogen gebracht, zeigte nun die obige Erscheinung mit vollkommener Sicherheit, indem der Strom, je nach dem Wechsel der Pole, bald die eine, bald die andere Oeffnung wählte. Daß die Wirkung der Trichter hier schon bei so geringer Anzahl erfolgte, mochte einmal in der besonderen Feinheit ihrer Spitzen, dann auch darin begründet seyn, daß in einer einzelnen Röhre die

Luftverdünnung nothwendig überall dieselbe, während in zwei Röhren der Widerstand des Mediums leicht ein verschiedener und die Erscheinung alsdann durch einen Factor mehr beeinflusst ist. Da nun in jedem Falle eine einzelne Röhre bequemer zu gebrauchen und leichter zu beschaffen ist, so wollte ich nicht unterlassen, auf diese kleine Vervollkommnung aufmerksam zu machen.







Lith. von Lave.

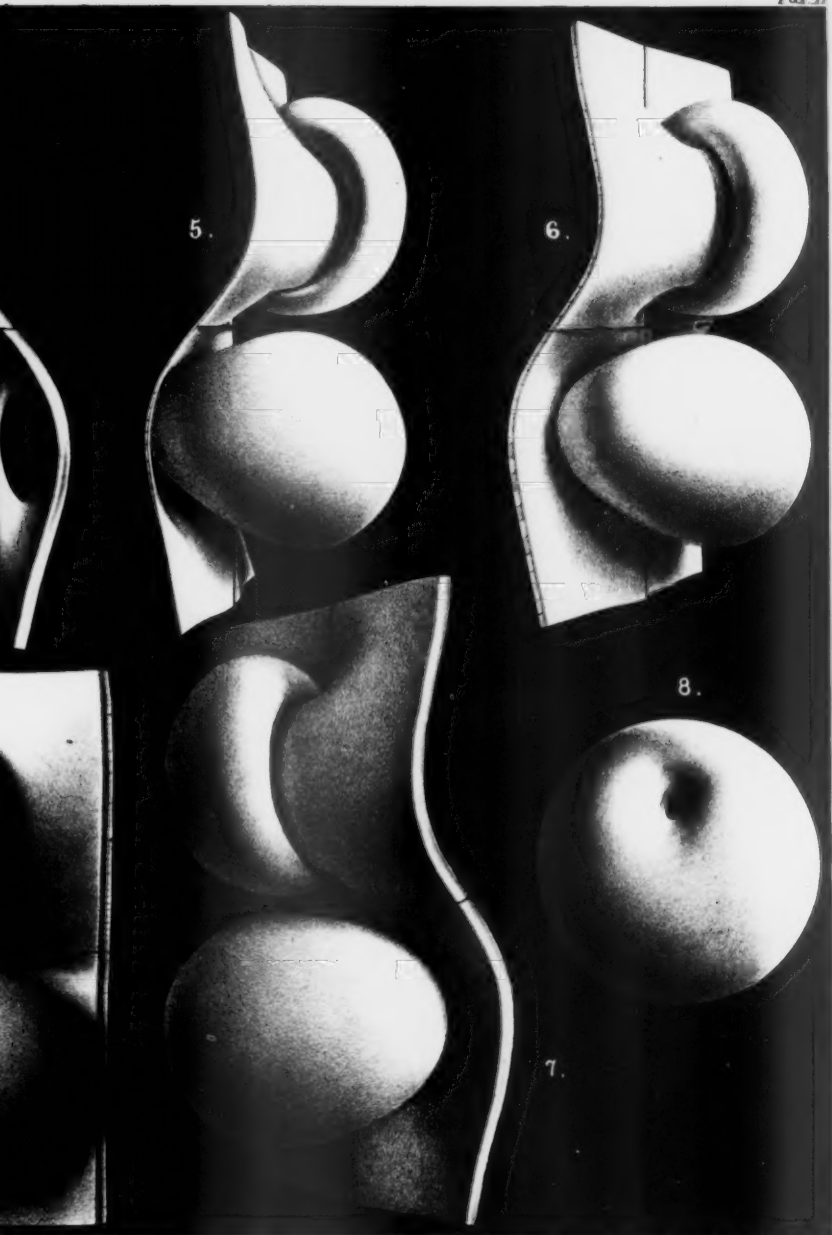


Fig. 2.

A B C D E F

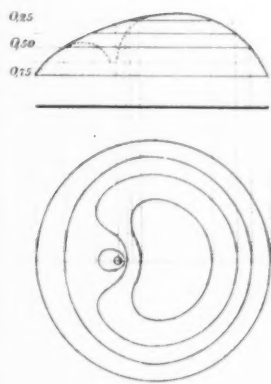
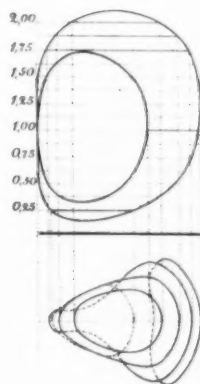
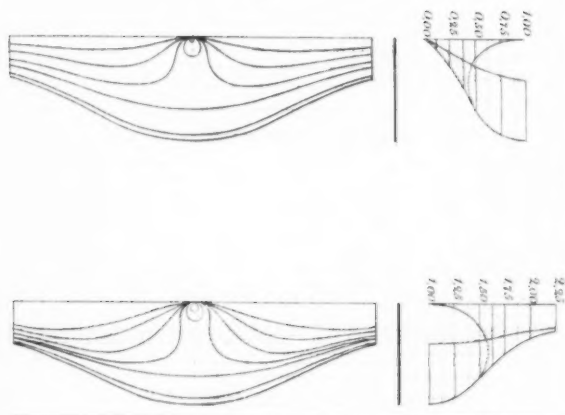


Fig. 1.



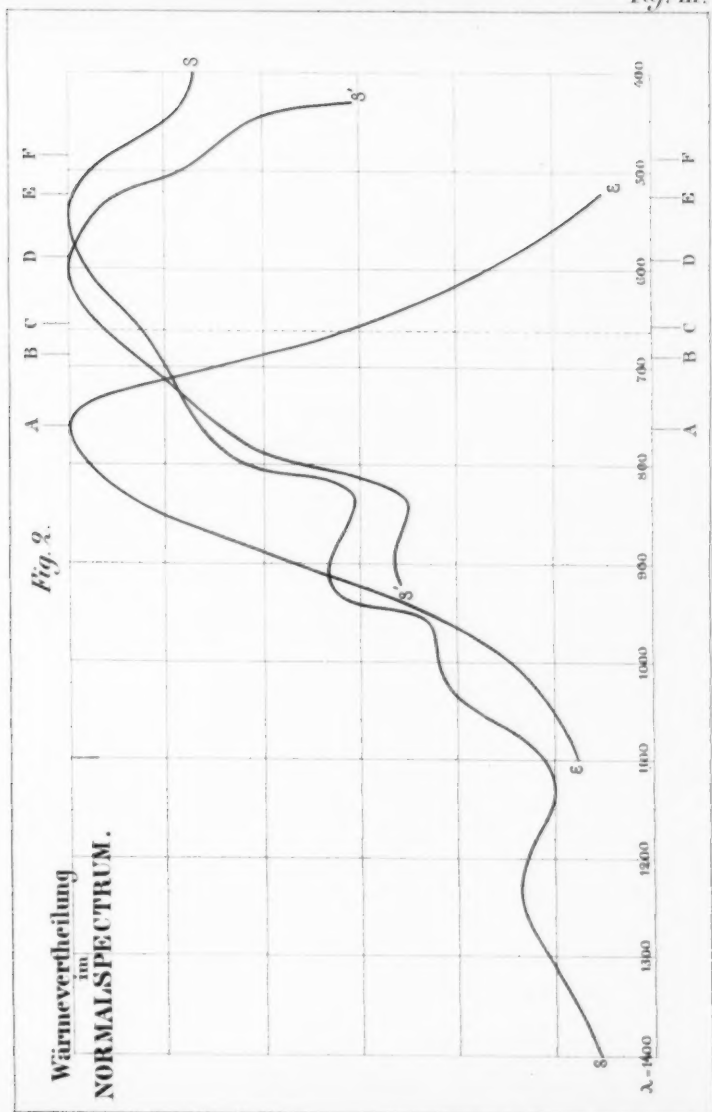
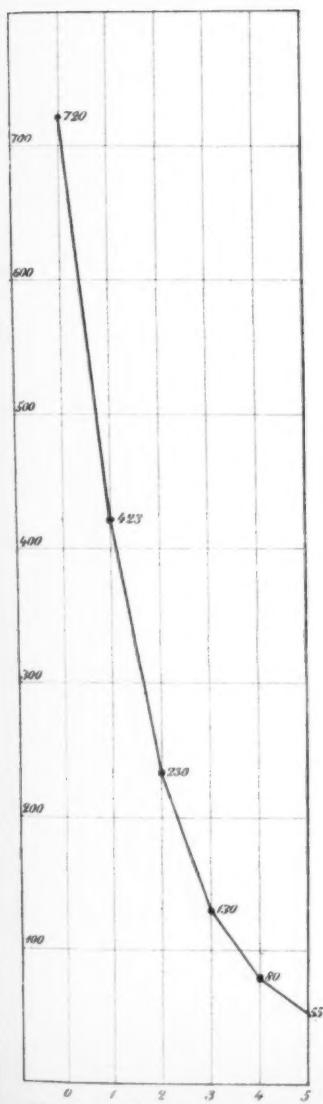


Fig. 3.



Alt. Schutze, Lith. Inst. Berlin.

Fig. 6.

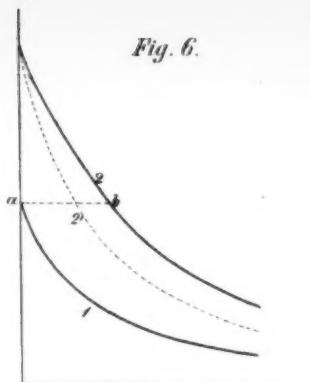


Fig. 4.

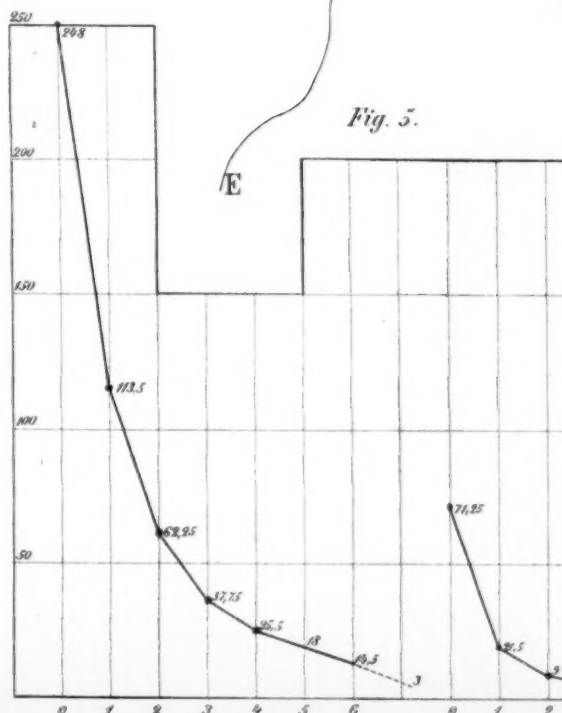
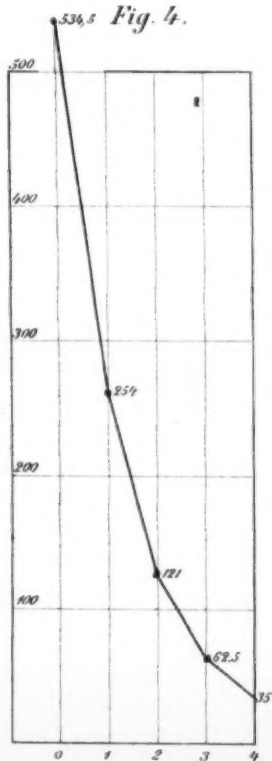


Fig. 5.

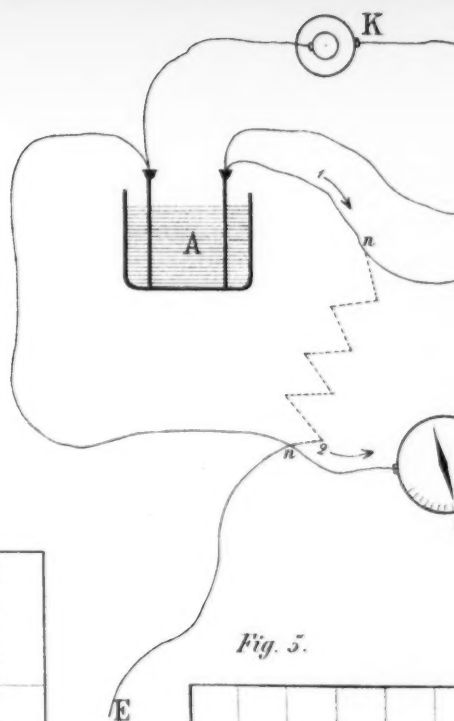


Fig. 1.

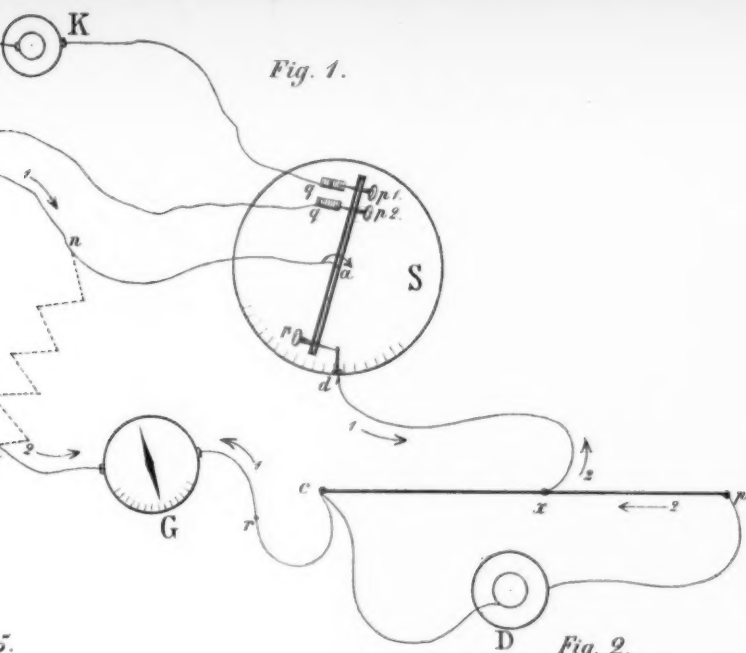


Fig. 2.

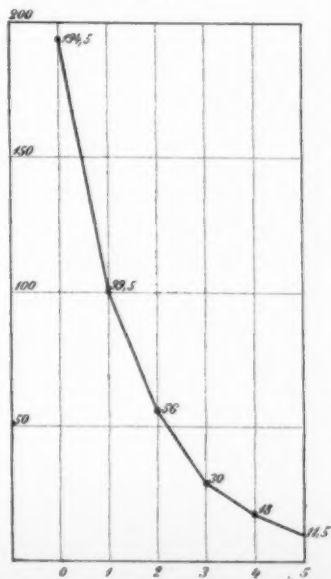
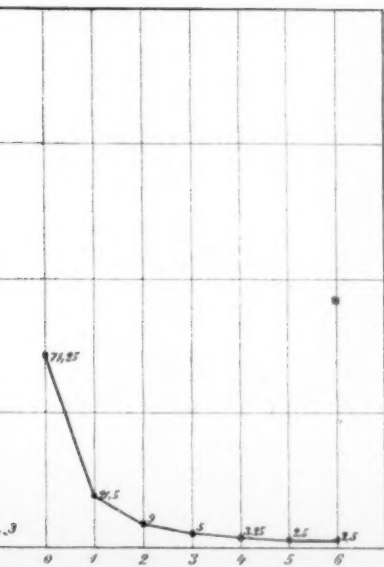
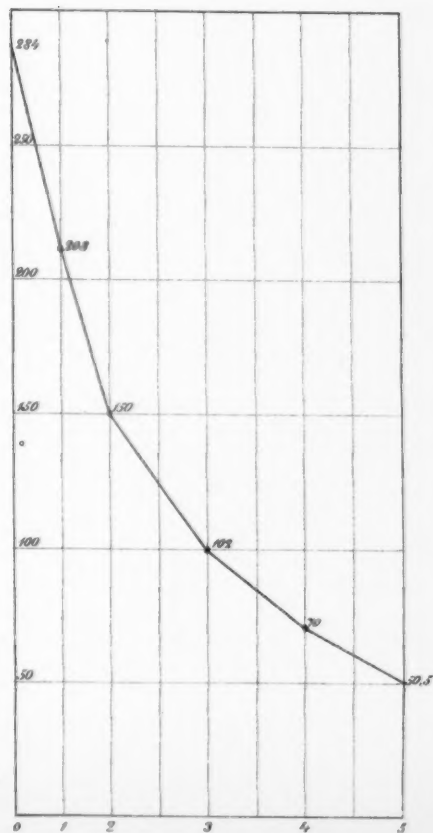
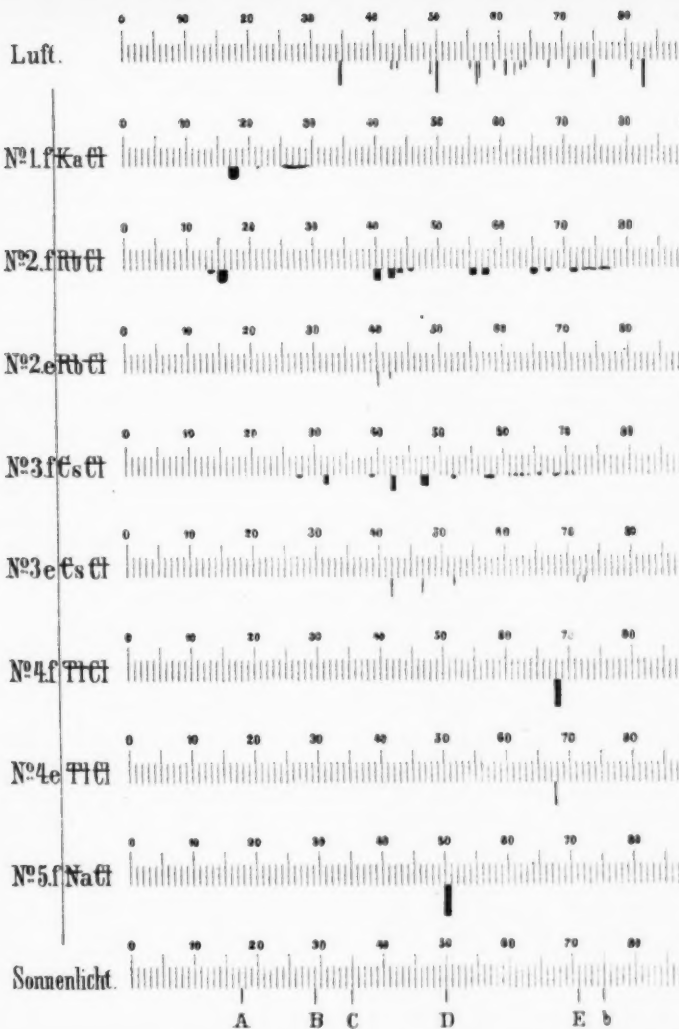
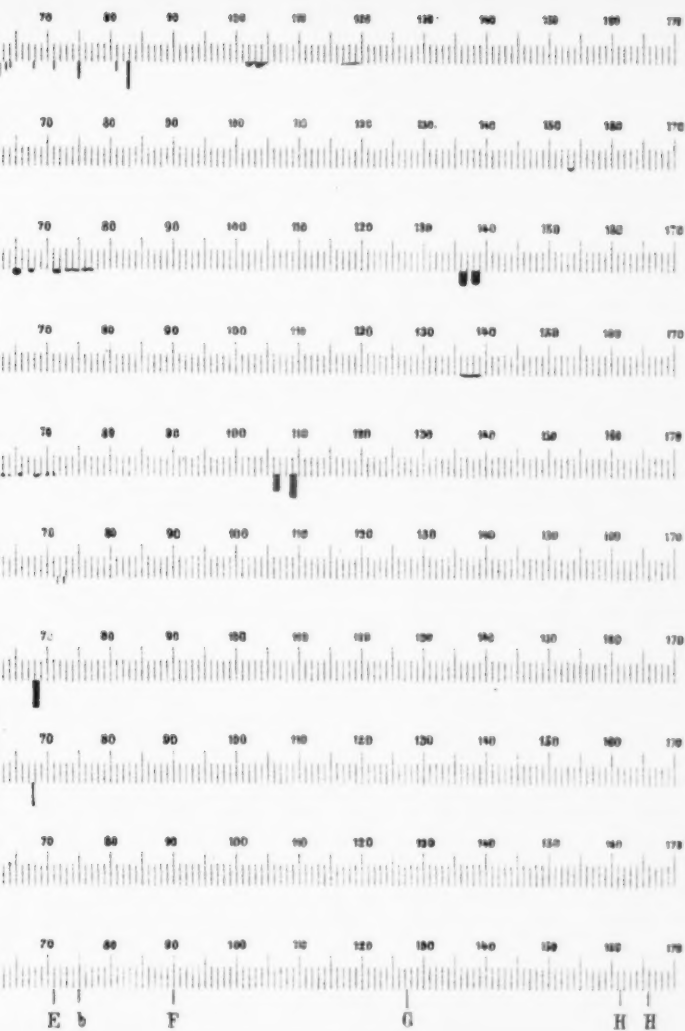


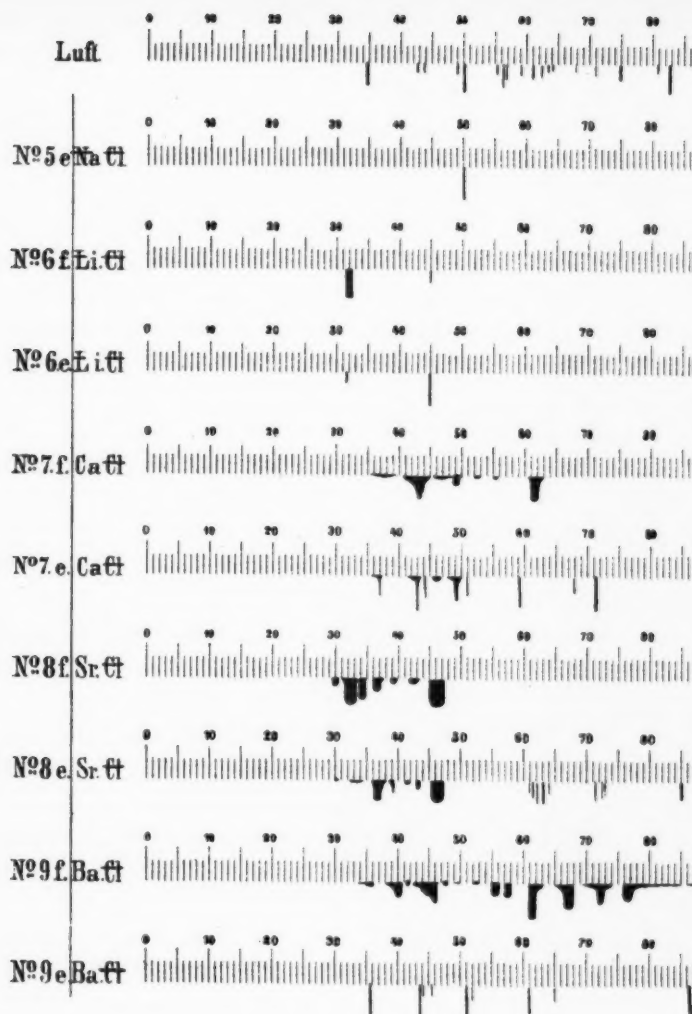
Fig. 7.



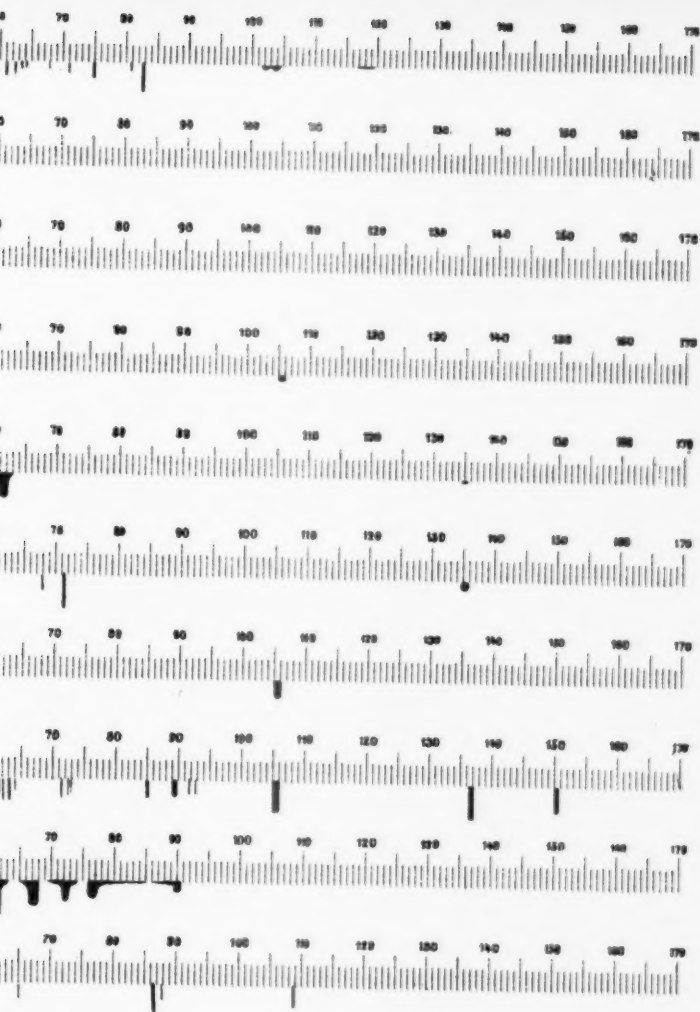


Taf. V.





Taf. VI.



Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. CLV St. 2.

Luft.



Nº10 e Mg. fl



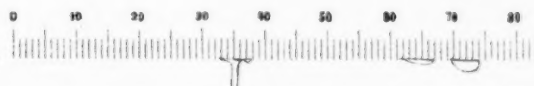
Nº11 e Er. fl



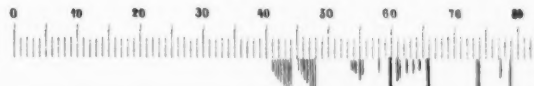
Nº11a Er. N.0.



Nº11f Er. 0.



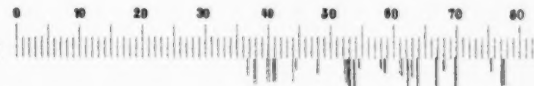
Nº12 e Yt. fl



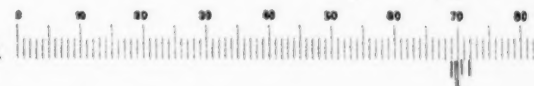
Nº13 e Ce. fl



Nº14 e La. fl



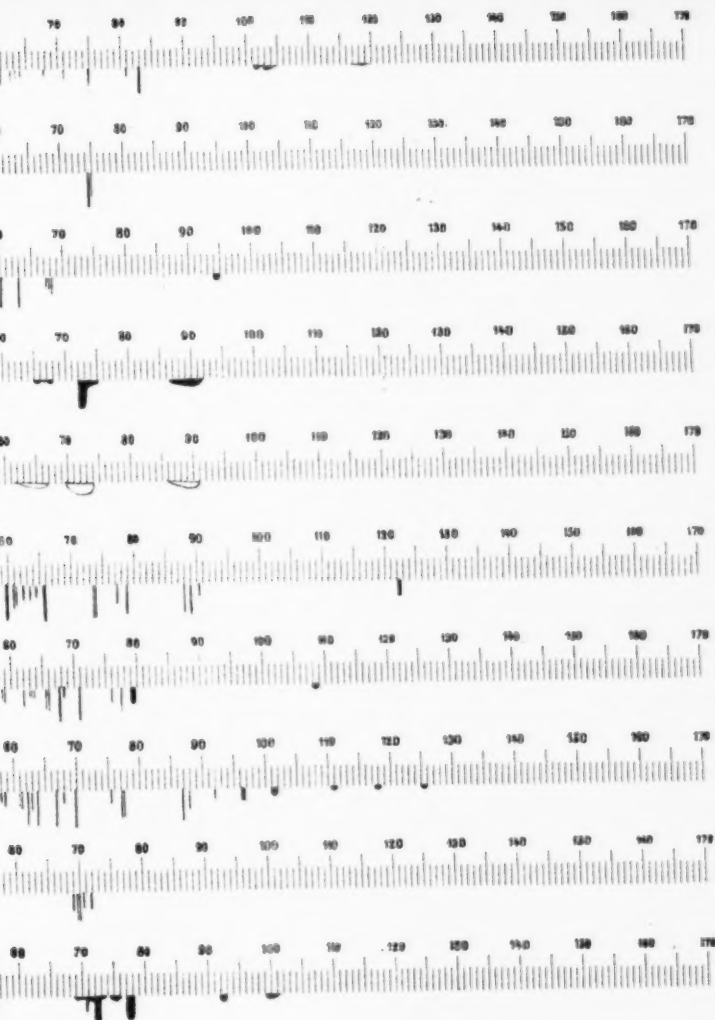
Nº15 e Di. fl

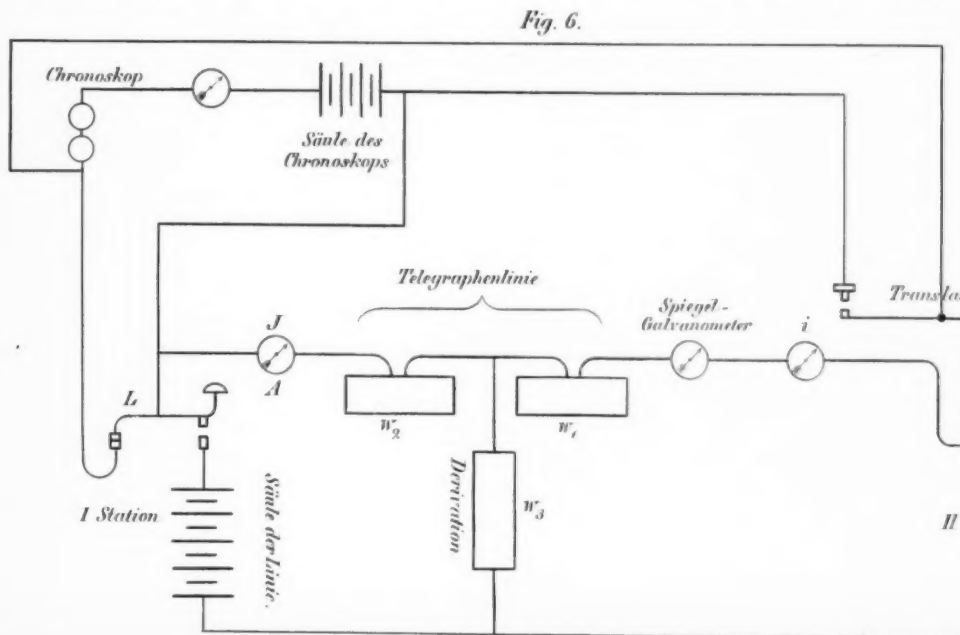
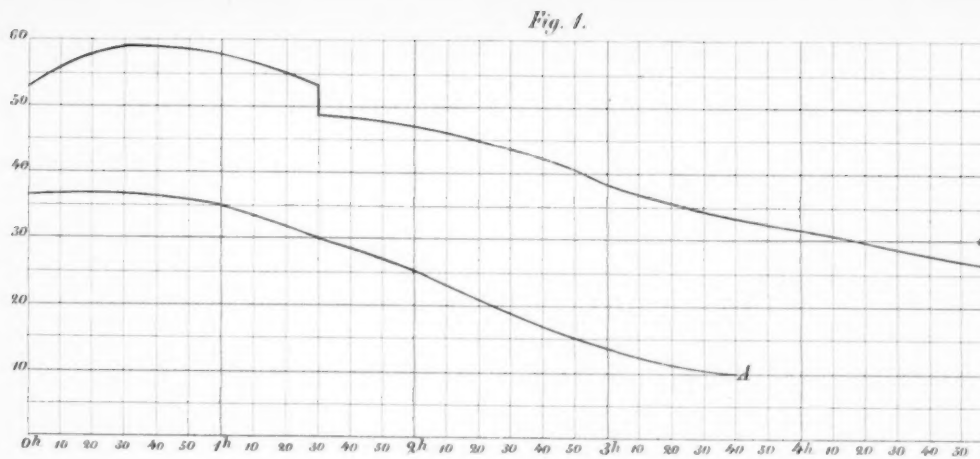


Nº15a Di. S.0.



Taf. VII.





Lith. von Laue.

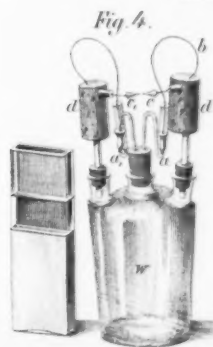
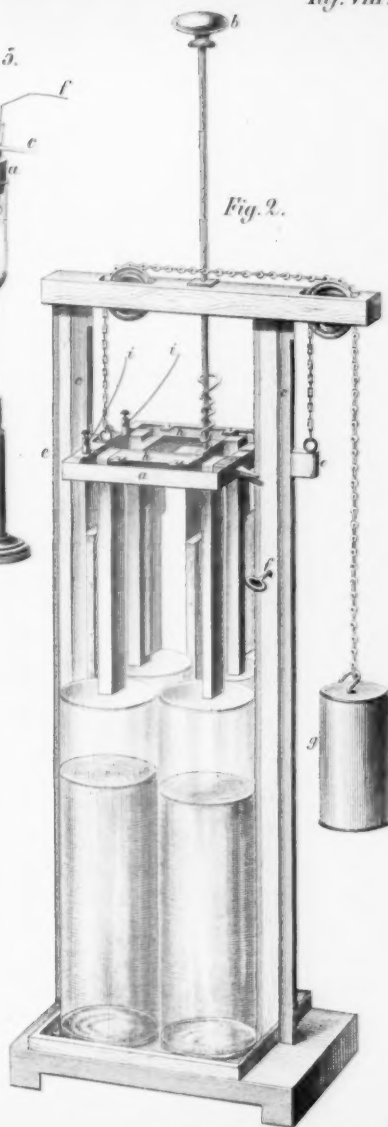
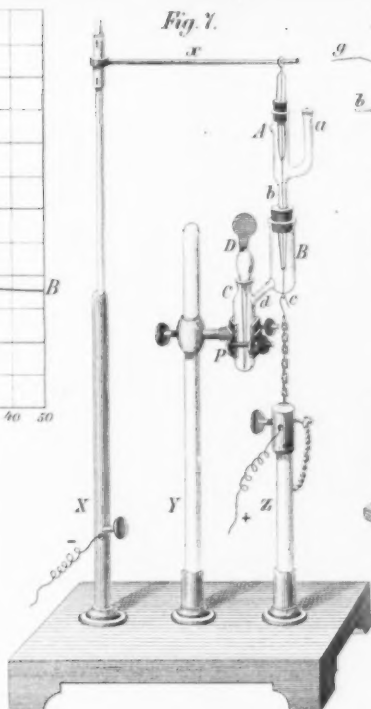
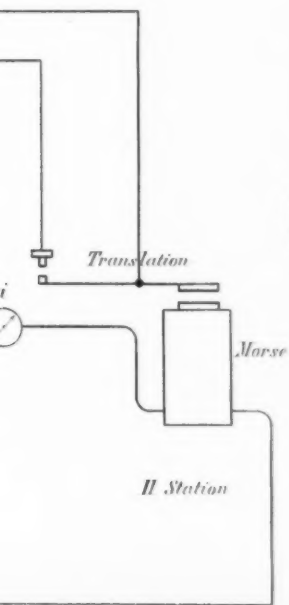
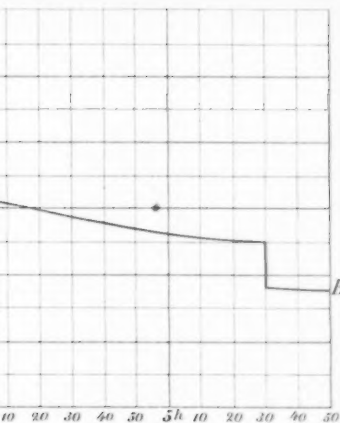
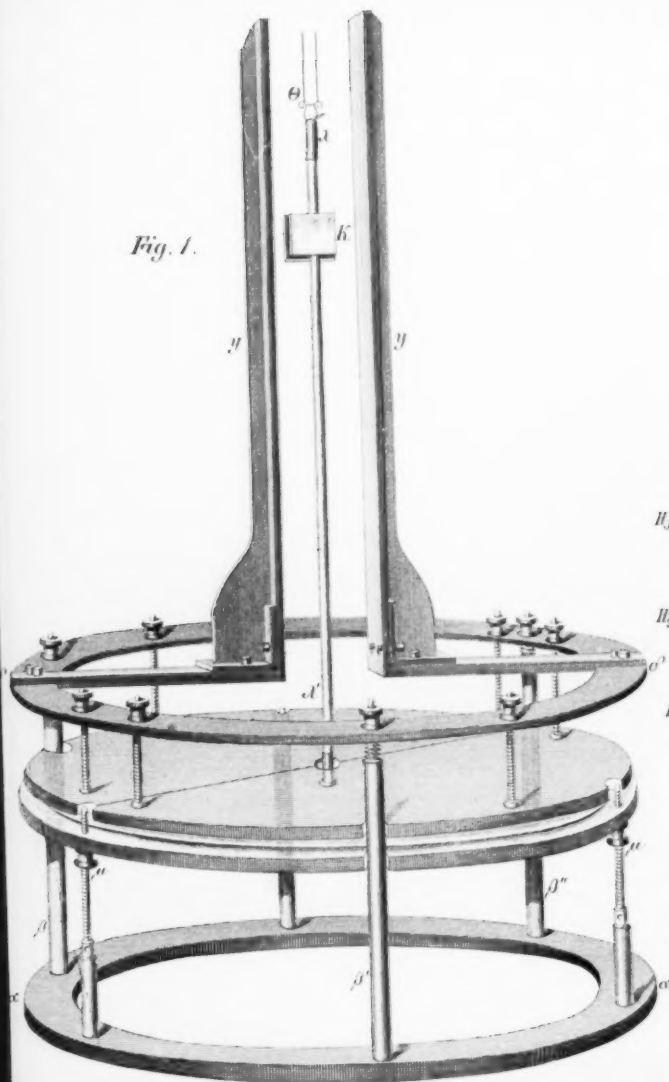


Fig. 3.

Fig. 1.



$\frac{1}{2}$ nat Grösse.

Wilmack ge. 2.

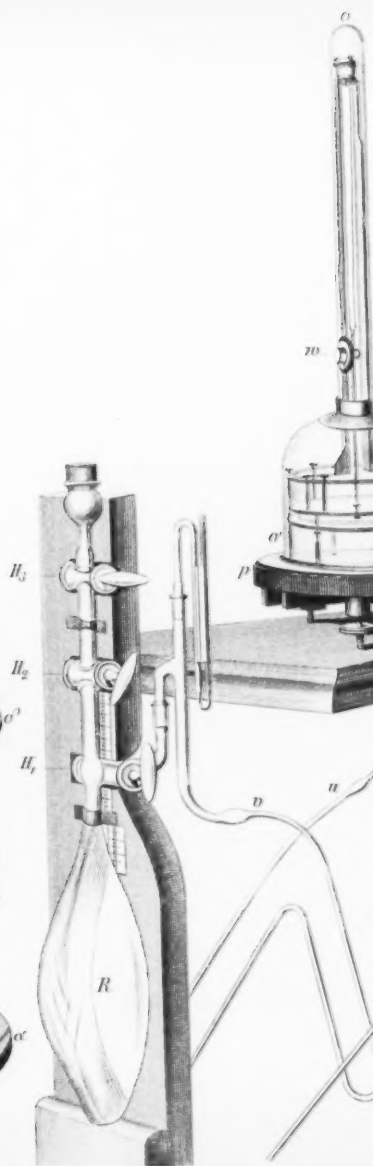
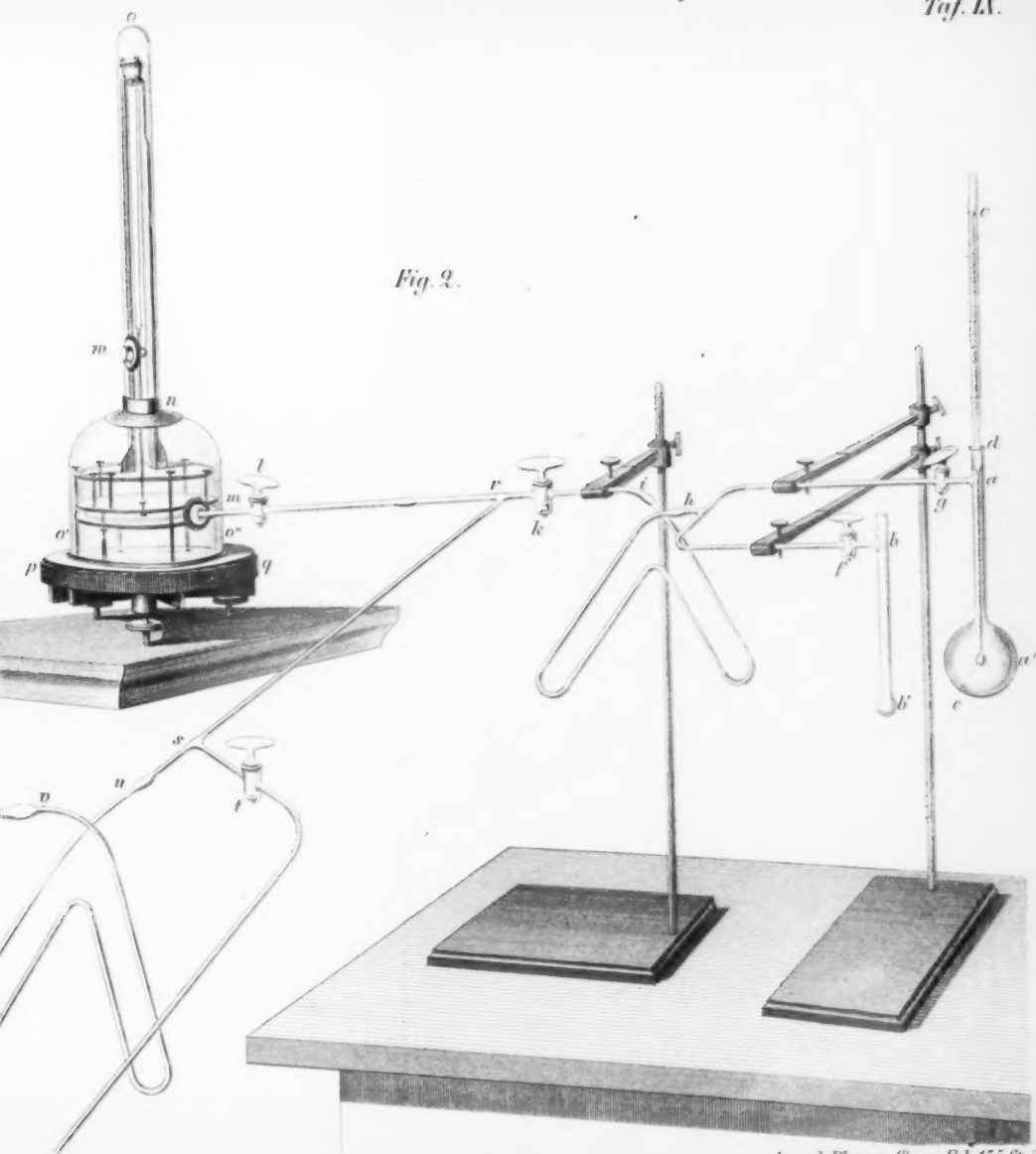


Fig. 2.



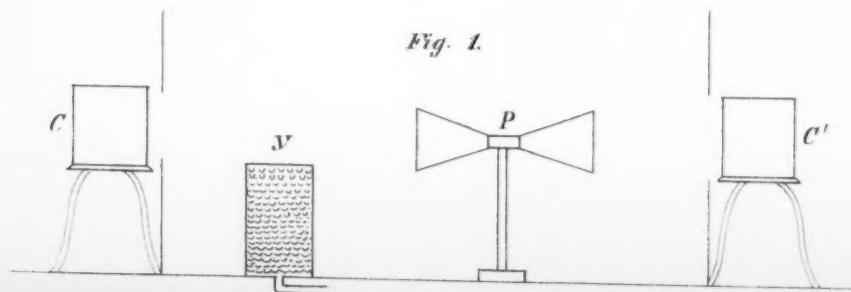
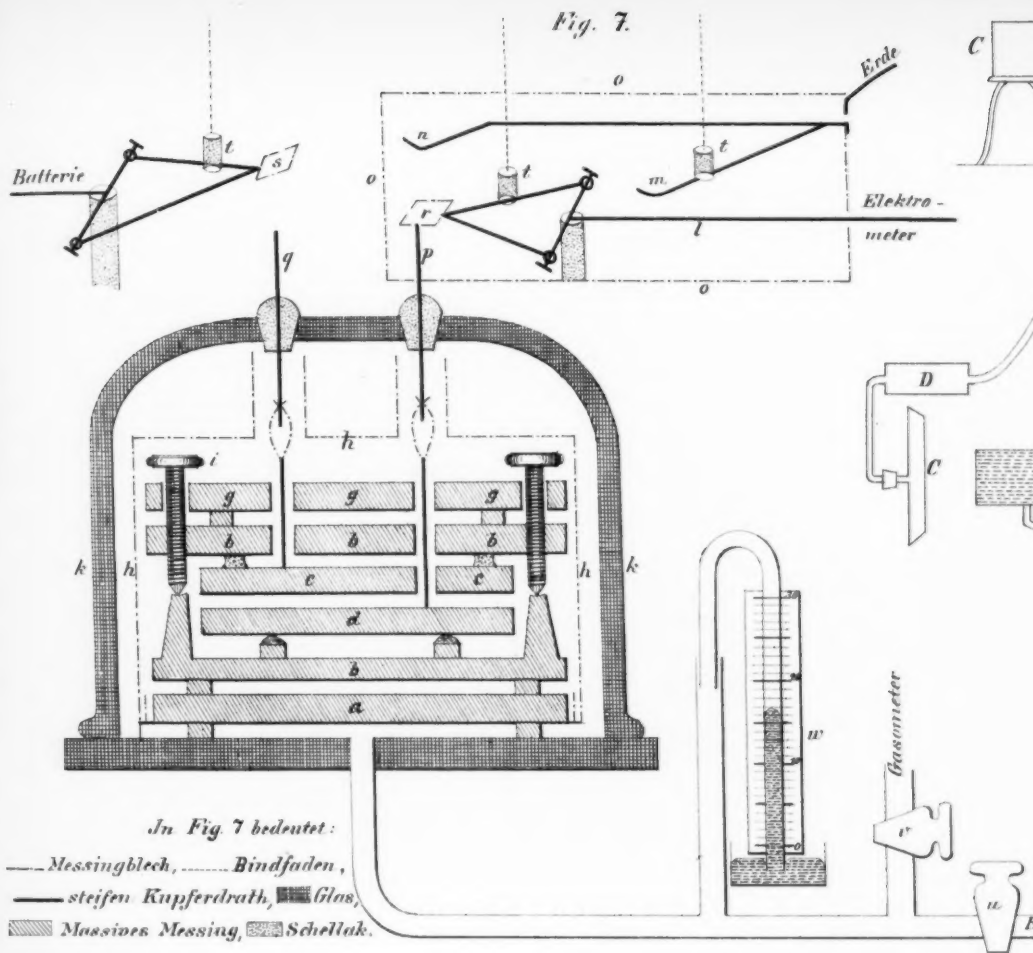


Fig. 2.

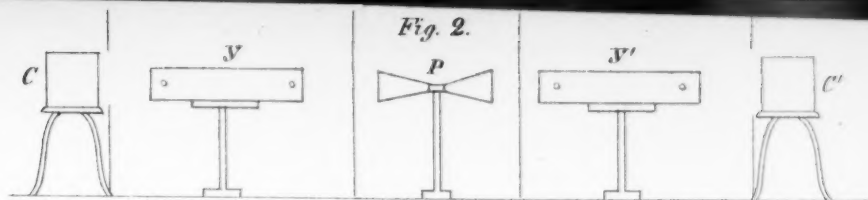


Fig. 3.

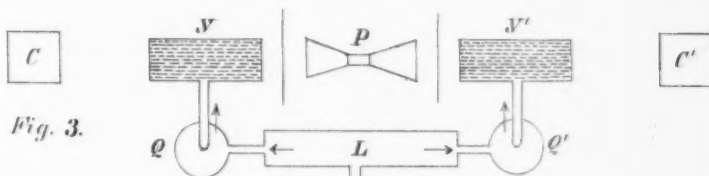


Fig. 4.

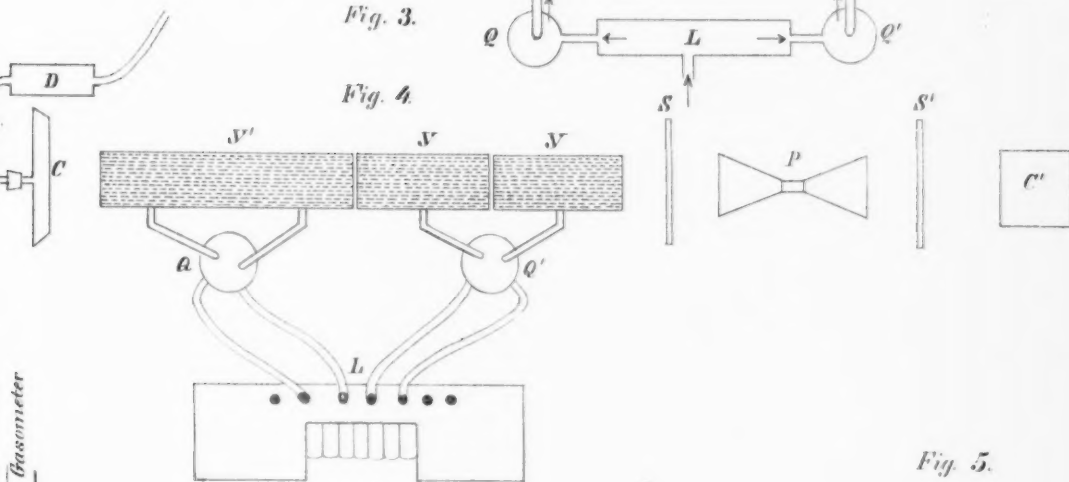


Fig. 5.

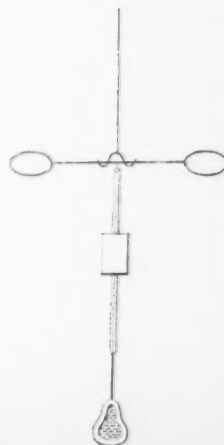
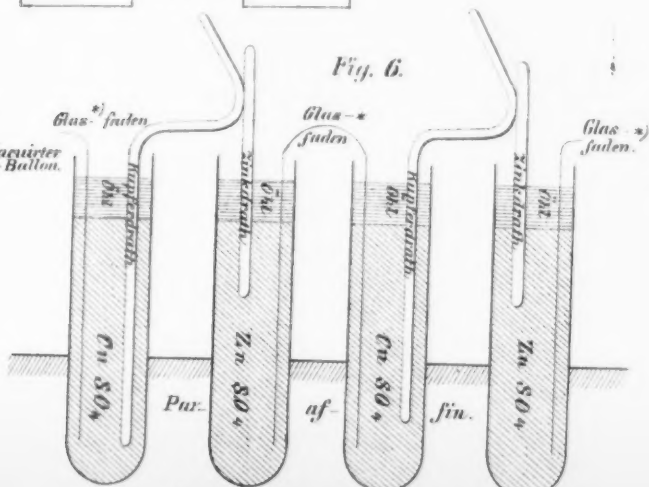
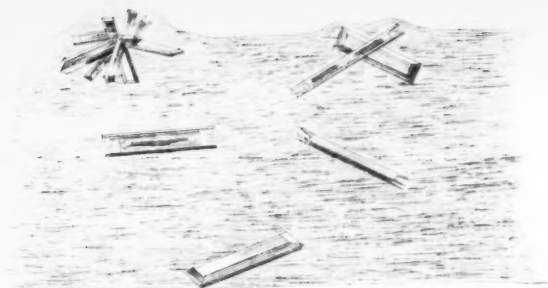


Fig. 6.



(* Hohl, mit Flüssigkeit gefüllt.)

1.



11.



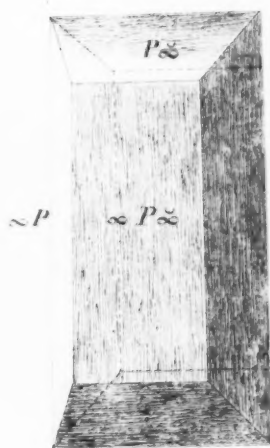
3.



4.



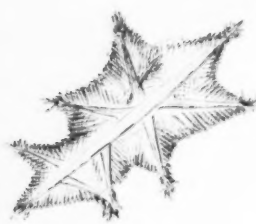
2.



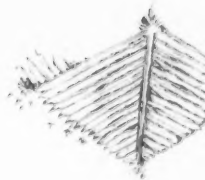
14.



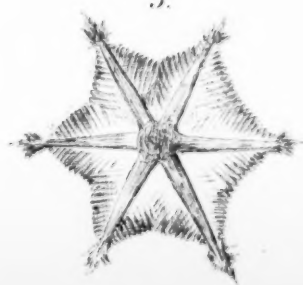
6.



8.



5.



9.

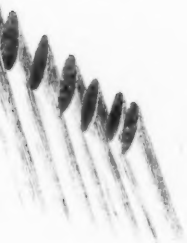


7.

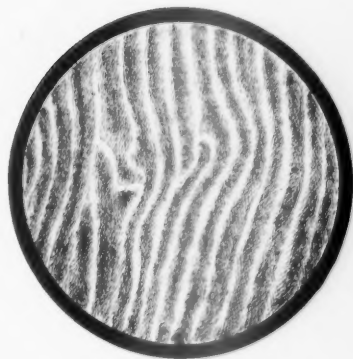




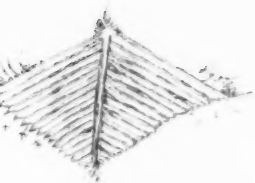
14.

14^b

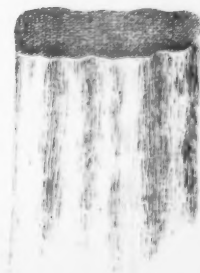
12.



8.



Schnitt Fig. 14a.

14^a

9.



10.



Fig. 4.

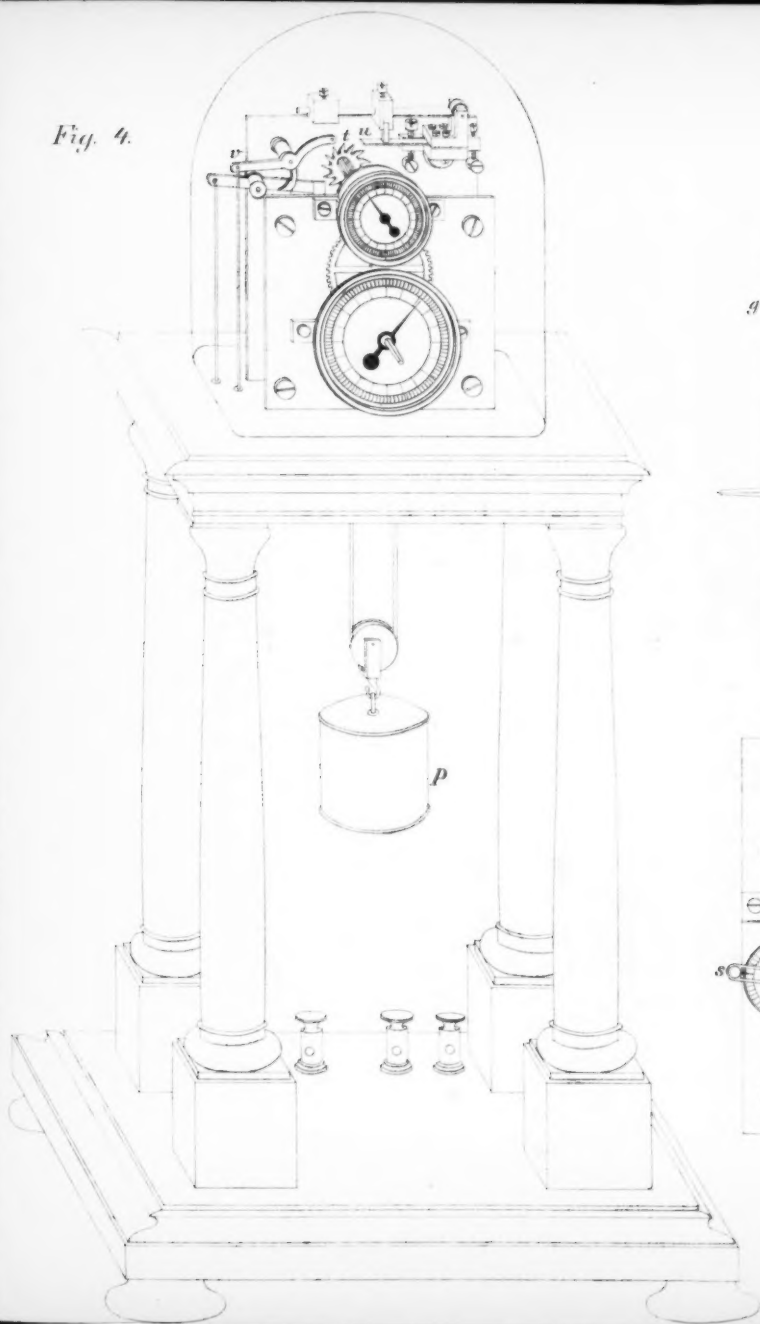


Fig. 5.

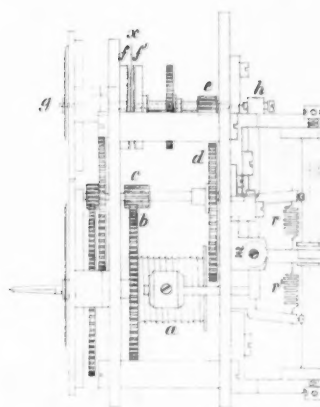


Fig. 6.

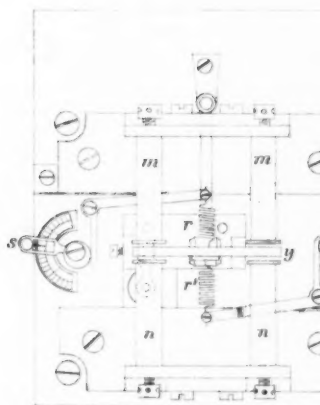


Fig. 5.

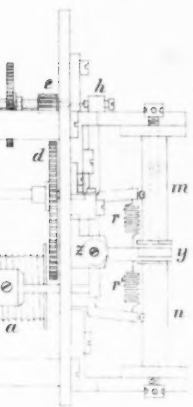


Fig. 6.

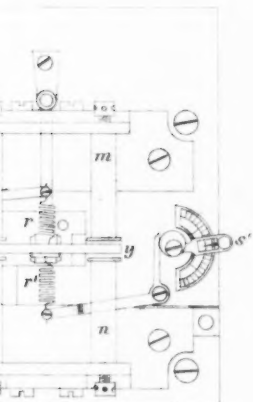


Fig. 1.

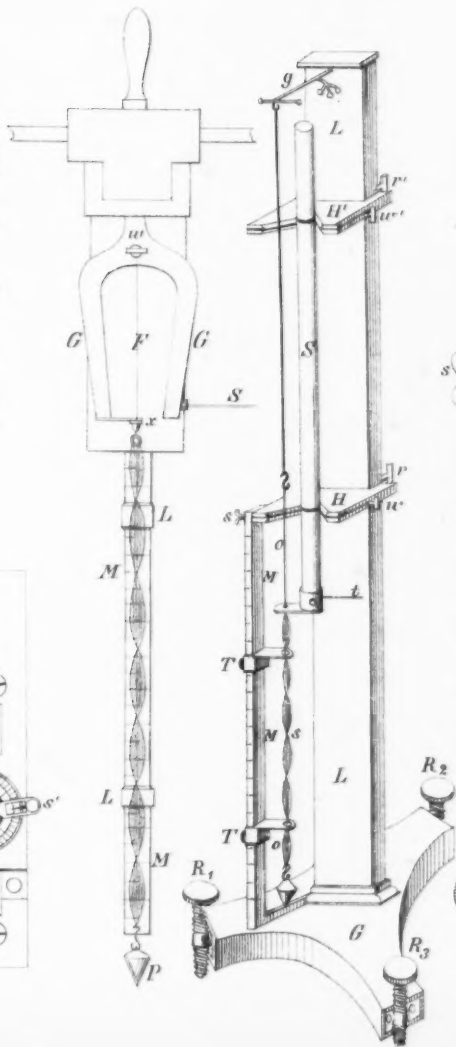


Fig. 2.

Fig. 3.

